



HAL
open science

Intégration des approches PLM et SLM pour le développement et la gestion des Systèmes Produit-Service en contexte automobile : proposition d'un cadre méthodologique

Fabien Mahut

► **To cite this version:**

Fabien Mahut. Intégration des approches PLM et SLM pour le développement et la gestion des Systèmes Produit-Service en contexte automobile : proposition d'un cadre méthodologique. Autre. Université de Technologie de Compiègne, 2019. Français. NNT : 2019COMP2473 . tel-03233106

HAL Id: tel-03233106

<https://theses.hal.science/tel-03233106>

Submitted on 23 May 2021

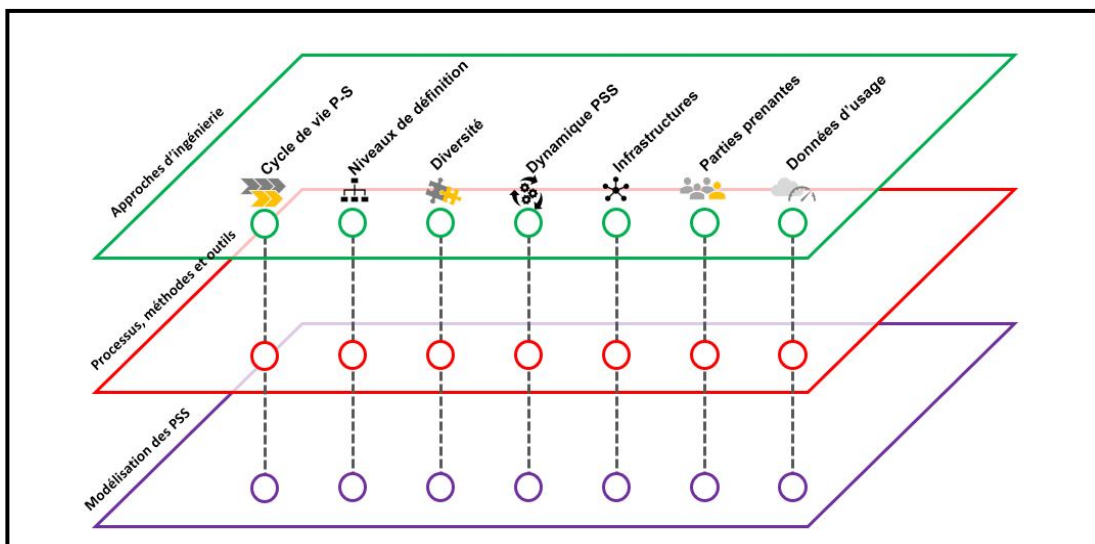
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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.

Par Fabien MAHUT

Intégration des approches PLM et SLM pour le développement et la gestion des Systèmes Produit-Service en contexte automobile : proposition d'un cadre méthodologique

Thèse présentée
pour l'obtention du grade
de Docteur de l'UTC



Soutenue le 7 mars 2019

Spécialité : Ingénierie industrielle : Unité de recherche en Mécanique - Laboratoire Roberval (FRE UTC - CNRS 2012)

D2473

Thèse présentée à
L'UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE
pour l'obtention du
GRADE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

Par Fabien Mahut

Spécialité :
INGÉNIERIE INDUSTRIELLE

Préparée au sein
DE L'ENTREPRISE RENAULT SAS
ET DU LABORATOIRE ROBERVAL – FRE CNRS 2012

Régie par la
CONVENTION INDIVIDUELLE DE FORMATION À LA RECHERCHE

Thèse soutenue le jeudi 7 mars 2019, devant le jury composé de :

- **M. Xavier BOUCHER**
Professeur des Universités, École Nationale Supérieure des Mines de St-Etienne
 - **Mme Zohra CHERFI**
Professeur des Universités, Université de Technologie de Compiègne
 - **Mme Marija JANKOVIC**
Professeur des Universités, Centrale Supélec (rapporteur)
 - **M. Christophe MERLO**
Enseignant Chercheur HDR, ESTIA (rapporteur)
 - **M. Matthieu BRICOGNE**
Enseignant Chercheur, Université de Technologie de Compiègne (directeur)
 - **Mme Joanna DAABOUL**
Maître de Conférences, Université de Technologie de Compiègne (directrice)
- Membres invités :
- **Mme Claire RIVOIRE**
Chef de Service à la Direction Après-Vente, Renault (directeur scientifique)
 - **M. Benoît EYNARD**
Enseignant Chercheur HDR, Université de Technologie de Compiègne (encadrant)

Remerciements

Ce manuscrit de thèse et la soutenance à venir sont l'aboutissement de plusieurs années au cours desquelles j'ai pu bénéficier d'un entourage à qui je souhaite exprimer ma gratitude ici.

Tout d'abord, je tiens à remercier Aurore dont l'aide m'a été précieuse. À sa façon, elle a grandement contribué à l'aboutissement de ces travaux et de cette folle aventure de doctorat, en étant de loin mon plus grand soutien pour m'encourager dans les différentes étapes de cette thèse. Merci pour avoir su m'insuffler cette énergie et d'avoir fait tant de concessions quand la thèse empiétait inévitablement sur la dimension personnelle. Merci d'avoir été à l'écoute et de bon conseil pour cette période de ma carrière.

En quelques sortes, cette thèse est comme un défi que m'ont proposé Benoît, Joanna et Matthieu. D'un point de vue très pratique, merci à eux de m'avoir permis de travailler sur ce sujet et de donner cette orientation à mon cursus professionnel. À travers leur encadrement, ils m'ont enseigné de nombreuses choses, tant sur les aspects techniques du sujet, que sur la conduite des travaux de recherche dans le domaine universitaire. C'est notamment grâce à eux que j'ai nourri et approfondi un intérêt pour la recherche scientifique. Ce sont autant d'héritages que je compte poursuivre et valoriser dans la suite de ma carrière. Mais c'est avec d'autant plus de reconnaissance que je les remercie de m'avoir porté et apporté tout au long de ce projet commun. Leur motivation omniprésente dans l'encadrement, mais aussi l'importante confiance qu'ils m'ont prêté m'ont permis d'avoir un socle solide pour progresser sur le chemin de la thèse et à travers ses différents obstacles.

J'ai réalisé en majorité ma thèse au sein du service 465 de l'entreprise Renault, et ce fut un grand plaisir. En premier lieu, je tiens à remercier grandement Jean-Michel, Martine, Bénédicte et Claire qui m'ont encadré dans cette aventure de recherche, qui était pour eux aussi un lot de challenges. Merci pour leur disponibilité dans l'encadrement qu'ils m'ont fourni, et merci de m'avoir fait confiance dans la conduite de ces travaux. J'ai beaucoup appris à leurs côtés, notamment parce qu'ils m'ont permis d'inscrire mes activités dans l'entreprise et de lever les défis auxquels j'étais confronté. Je remercie également Pierre, Ludovic, Arnaud, Yves, Pascal, Bruno, Eric, Véronique et le Comité de Service 465 pour leur collaboration dans les différentes activités au cours de ces trois ans chez Renault. La liste est longue et s'étend aux nombreux membres du service 465 qui en font un espace convivial et épanouissant, dans lequel j'ai bénéficié d'un accueil formidable.

Mais ce doctorat m'a permis aussi de passer de très agréables moments avec les membres de l'ex-département GSM de l'UTC. Je tiens à exprimer ma sympathie pour toutes ces personnes qui font preuve de beaucoup d'entraide et avec qui j'ai pu partager d'agréables moments. Ma présence à l'UTC a été l'occasion de m'enrichir de discussions avec cette équipe pluridisciplinaire, qui met beaucoup d'énergie à la collaboration et au partage et qui m'a permis de cultiver des connaissances dans nos disciplines. En particulier, merci aux doctorants et amis pour cet esprit de soutien et ces échanges précieux pour appréhender le doctorat.

Le doctorat est l'achèvement d'un parcours scolaire que je dois en bonne partie à mes parents. Je tiens à les remercier de m'avoir apporté la motivation et le soutien matériel à chacune des étapes du long parcours entre la scolarité maternelle et le doctorat. Je les remercie aussi, tout comme mes frères et sœurs aînés, de m'avoir permis de cultiver un intérêt pour la science et la mécanique qui m'ont fasciné depuis mon jeune âge. Enfin, merci Stéphanie pour son guidage

depuis le Baccalauréat grâce auquel j'ai pu choisir de m'orienter vers une école d'ingénieur et un doctorat, elle a été la première étape qui m'a poussé dans cette direction.

Cette section me permet également d'adresser mes remerciements à mes amis qui m'ont eux aussi soutenu et encouragé dans ce projet et ses aléas, toujours intéressés et prêts à aider par leur écoute. Ils m'ont aussi permis de m'extraire momentanément d'un projet qui est source de nombreuses sollicitations et de me rappeler qu'il y a une vie en marge de la thèse.

Les progrès du savoir sont essentiellement la transformation d'un savoir antérieur.

Karl Popper

Table des matières

REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIERES	VII
TABLE DES FIGURES	IX
TABLE DES TABLEAUX ET ENCADRES	XIII
TABLE DES ABREVIATIONS	XIV
INTRODUCTION ET STRUCTURE DU MANUSCRIT.....	1
CHAPITRE 1 : CONTEXTE.....	3
1.1. L'INGENIERIE DES SERVICES, UNE EVOLUTION STRATEGIQUE DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE.....	5
1.1.1. <i>L'évolution d'offres produit vers des Product-Service System</i>	5
1.1.2. <i>La servicization du secteur automobile</i>	5
1.2. POSITIONNEMENT DES TRAVAUX DE RECHERCHE	8
1.2.1. <i>Caractérisation du PSS dans la littérature</i>	8
1.2.2. <i>Cadre méthodologique considéré dans les travaux</i>	12
1.2.3. <i>Caractérisation des PSS automobiles</i>	14
1.3. QUESTION DE RECHERCHE	18
1.3.1. <i>Problématique</i>	18
1.3.2. <i>Critères d'analyse utilisés dans le travail de recherche</i>	20
1.4. METHODOLOGIE DE THESE	21
1.4.1. <i>Synthèse des objectifs industriels</i>	21
1.4.2. <i>Synthèse des objectifs scientifiques</i>	22
1.4.3. <i>Démarche de recherche suivie</i>	23
CHAPITRE 2 : ÉTAT DE L'ART	27
2.1. STRUCTURATION DE L'ÉTAT DE L'ART SCIENTIFIQUE	27
2.1.1. <i>Éléments méthodologiques considérés dans l'état de l'art</i>	27
2.1.2. <i>Structuration de l'état de l'art en trois niveaux</i>	29
2.1.3. <i>Démarche d'analyse de l'état de l'art par critères</i>	30
2.1.4. <i>Sélection des axes scientifiques à étudier</i>	32
2.2. LES APPROCHES D'INGENIERIE	32
2.2.1. <i>Les approches principales mises en œuvre en entreprise</i>	32
2.2.2. <i>Le Product Lifecycle Management</i>	34
2.2.3. <i>Le Service Lifecycle Management</i>	38
2.2.4. <i>Les approches cycle de vie des PSS</i>	40
2.2.5. <i>L'ingénierie système</i>	43
2.2.6. <i>Approches d'ingénierie : synthèse intermédiaire</i>	46
2.3. LES PROCESSUS, METHODES ET OUTILS D'INGENIERIE DES PSS	48
2.3.1. <i>Processus d'ingénierie des PSS</i>	49
2.3.2. <i>Méthodes et outils d'ingénierie des PSS</i>	55
2.4. LA MODELISATION DES PSS	68
2.4.1. <i>Éléments de définition pour la modélisation des PSS</i>	68
2.4.2. <i>Les modèles de PSS de la littérature</i>	70
2.4.3. <i>Modélisation des PSS : synthèse intermédiaire</i>	82
2.5. SYNTHESE DE L'ÉTAT DE L'ART	86

CHAPITRE 3 : PROPOSITION D'UN CADRE METHODOLOGIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT ET LA GESTION DES PSS AUTOMOBILES.....	89
3.1. PROPOSITION AU NIVEAU DES APPROCHES D'INGENIERIE	89
3.1.1. <i>Paysage d'approches d'ingénierie des PSS</i>	90
3.1.2. <i>Proposition de définition du SLM selon le modèle en 5 dimensions</i>	93
3.1.3. <i>Proposition d'interaction PLM / SLM dans le contexte automobile.....</i>	96
3.1.4. <i>Cycle de vie des PSS et répartition produit-service</i>	99
3.2. PROPOSITION AU NIVEAU DES PROCESSUS, METHODES ET OUTILS.....	103
3.2.1. <i>Processus global pour le développement des PSS.....</i>	103
3.2.2. <i>Application des méthodes de l'Ingénierie Système dans la conception de PSS</i>	108
3.2.3. <i>Gestion de la diversité des PSS.....</i>	109
3.2.4. <i>Réponse aux critères d'analyse pour les processus, méthodes et outils.....</i>	113
3.3. PROPOSITION DE MODELISATION DU PSS.....	115
3.3.1. <i>Centrage des différents modèles autour de modèles de référence</i>	115
3.3.2. <i>Modèles de référence proposés.....</i>	117
3.3.3. <i>Modèles spécifiques proposés pour la conception de PSS</i>	118
3.3.4. <i>Gestion de la diversité à travers les modèles de PSS</i>	128
3.3.5. <i>Réponse aux critères d'analyse pour la modélisation de PSS</i>	136
CHAPITRE 4 : MISE EN ŒUVRE	139
4.1. CAS D'ÉTUDE N°1.....	139
4.1.1. <i>Motivations du choix du cas d'étude n°1.....</i>	139
4.1.2. <i>Description du cas d'étude.....</i>	141
4.1.3. <i>Travaux couverts dans ce cas d'étude</i>	144
4.1.4. <i>Application de la proposition.....</i>	145
4.1.5. <i>Développement d'un outil de mesure basé sur l'application de la proposition</i>	152
4.1.6. <i>Validation des éléments de la proposition.....</i>	159
4.2. CAS D'ÉTUDE N°2 : SERVICE DE DIAGNOSTIC A DISTANCE	159
4.2.1. <i>Description du cas d'étude.....</i>	159
4.2.2. <i>Travaux couverts dans ce cas d'étude</i>	161
4.2.3. <i>Application de la proposition.....</i>	163
4.2.1. <i>Validation des éléments de la proposition.....</i>	175
4.2.2. <i>Valorisation du cas d'étude pour l'entreprise.....</i>	176
CHAPITRE 5 : CONCLUSION	177
5.1. CONCLUSION DES TRAVAUX.....	177
5.2. LIMITES ET PERSPECTIVES	180
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	183
NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE	189
ANNEXES.....	191
SUPPORTS DE SOUTENANCE	193

Table des figures

Figure 1-1 Les schémas d'évolution vers un PSS (Baines et al., 2007).....	5
Figure 1-2 Préfiguration des PSS automobiles futurs	6
Figure 1-3 Une symbolisation du continuum produit-service des offres automobiles historiques	7
Figure 1-4 Symbolisation de l'offre automobile future	8
Figure 1-5 Positionnement de ces travaux selon la classification des domaines de recherche de (Boehm et al., 2013)	9
Figure 1-6 Graphe de définition du concept de PSS pour la discipline ED (d'après Boehm et al., 2013)	12
Figure 1-7 Classification en 4 niveaux pour le développement de système (Guerineau et al., 2018).....	13
Figure 1-8 Le cadre méthodologique est constitué d'approches d'ingénierie détaillées par les processus, méthodes et outils, auxquelles nous ajoutons les modèles de PSS.....	13
Figure 1-9 Illustration des relations produit-service par l'exemple d'un PSS "Profil conducteur"	15
Figure 1-10 Illustration des 4 schémas d'interactions produit-services	16
Figure 1-11 Comparaison des cycles de vie de véhicule et de services automobiles	17
Figure 1-12 L'évolution des services réalisés exploitant un véhicule après son lancement.....	17
Figure 1-13 Représentation des différents ensembles de PSS proposés par une entreprise.....	19
Figure 1-14 Besoin industriel de préfiguration des systèmes d'information et activités de l'entreprise pour l'ingénierie des services	22
Figure 1-15 Méthodologie suivie dans le travail de recherche.....	24
Figure 2-1 Représentation d'une approche par les Processus, Méthodes et Outils.....	28
Figure 2-2 Le cadre de travail intègre les approches de développement et les modélisations des PSS	29
Figure 2-3 Structuration des apports de la thèse en trois niveaux adaptés du cadre présenté en contexte.....	30
Figure 2-4 Utilisation des critères d'analyse pour les trois thématiques	30
Figure 2-5 Structuration de l'état de l'art sur la thématique des approches d'ingénierie	34
Figure 2-6 Paysage des différentes approches vues par les systèmes d'information support, d'après (Terzi et al., 2010)	35
Figure 2-7 Aires d'importance du PLM vs. de l'ERP d'après Terzi et al. (2010)	36
Figure 2-8 Vue simplifiée des 5 dimensions du PLM intégré d'après (Budde et al., 2010; Silventoinen et al., 2011)	36
Figure 2-9 Liens entre les 5 dimensions du PLM et le cadre structurant les travaux	38
Figure 2-10 Le cycle de vie du service selon (Peruzzini et al., 2012)	39
Figure 2-11 Les 4 schémas d'interaction PLM-SLM identifiés par (Wiesner et al., 2015).....	40
Figure 2-12 MPSD, le processus de développement central du PSLM selon (Wang et al., 2011a)	42
Figure 2-13 Les processus d'ingénierie système sur le cycle de vie selon le standard ISO/IEC/IEEE 15288:2015	44
Figure 2-14 Structuration de l'état de l'art sur les thématiques des processus, méthodes et outils d'ingénierie.....	48
Figure 2-15 Processus (macro) de développement et décomposition en process modules (micro)	50
Figure 2-16 Intégration des process <i>modules</i> dans l' <i>Integrated Design Process</i>	50
Figure 2-17 Cycle en V adapté à l'ingénierie des PSS	51
Figure 2-18 Synthèse du processus d'allocation fonctionnelle proposé par (Müller et al., 2007)	52
Figure 2-19 Méthode d'ingénierie de (Morelli, 2006)	57
Figure 2-20 Abstraction de la méthode de <i>Functional Product Development</i> d'après (Alonso-Rasgado et al., 2004)	58
Figure 2-21 Synthèse de la méthode d'ingénierie d'exigence des PSS RDMod adapté de (Berkovich et al., 2012)	59
Figure 2-22 Le <i>hierarchical feature tree</i> représentant la configuration des PSS d'après (Schuh et al., 2017).....	62
Figure 2-26 Description de la diversité du produit à travers des variantes (J.C. Aurich et al., 2009)	63

Figure 2-27 Description de la diversité du service à travers des variantes (J.C. Aurich et al., 2009).....	63
Figure 2-28 Matrice de combinaison des composants produit (a), des modules de service (b) et des produit- service (c) (d'après Aurich et al. 2009).....	64
Figure 2-29 Applicabilité des composants produit aux caractéristiques PSS (J.C. Aurich et al., 2009)	64
Figure 2-30 Cadre de gestion des données de PSS d'après (Yang et al., 2009a)	66
Figure 2-31 État de l'art au niveau de la modélisation des PSS.....	68
Figure 2-32 Taxonomie des modèles selon (INCOSE, 2015)	69
Figure 2-33 Le Diagramme de Bloc Fonctionnel pour le développement du PSS (Maussang et al., 2009)	72
Figure 2-34 Liens entre <i>function</i> , <i>behaviour</i> et <i>structure</i> dans le modèle FBS (Gero, 1990)	73
Figure 2-35 La gestion du comportement dans le modèle FBS-PPRE (Labrousse et al., 2008)	74
Figure 2-36 Modèle UML du FBS de (Labrousse et al., 2008).....	74
Figure 2-37 Diagramme de classe UML du FBS-PPRE (Labrousse et al., 2008).....	75
Figure 2-38 Ensemble des concepts du modèle FBS et FBS-PPRE	76
Figure 2-39 La modélisation des services de (Fährnich et al., 2007) se traduit en trois dimensions <i>outcome</i> , <i>structure</i> et <i>process</i> . Les termes sont homogénéisés dans ces travaux.	77
Figure 2-40 <i>Basic Element Model</i> du service selon (Bullinger et al., 2003)	78
Figure 2-41 Les différents niveaux de la <i>Modular Product-Service Architecture</i> selon (Wang et al., 2014).....	81
Figure 2-42 (a) <i>Meta-ontology of modular product-service</i> (Wang et al., 2014), les éléments intervenants dans la gestion de configuration sont colorés, (b) périmètre de la configuration dans l'architecture	81
Figure 3-1 Proposition d'interaction du PLM et du SLM à travers les pratiques de l'IS.....	89
Figure 3-2 Les approches existantes dans un paradigme faible en services	90
Figure 3-3 Activités de service autour du cycle de vie de produit, exemple de la maintenance automobile	91
Figure 3-4 Proposition d'interaction du SLM et PLM dans les approches existantes.....	92
Figure 3-5 Vue « boîte noire » du SLM dans la proposition	92
Figure 3-6 Dualité des cycles de vie produit et service dans la proposition.....	93
Figure 3-7 Dimensions du SLM d'après le modèle de (Silventoinen et al., 2011) transposé aux services	93
Figure 3-8 Système PLM et applications métier d'après (Le Duigou, 2010)	94
Figure 3-9 Détail des solutions logicielles type de la dimension « SLM IT architecture »	95
Figure 3-10 Interaction du PLM et SLM pour la dimension d'architecture informatique à travers un modèle ...	97
Figure 3-11 Cycle de vie des PSS.....	99
Figure 3-12 Positionnement des environnements produit et service sur le cycle de vie du PSS	100
Figure 3-13 Décomposition du PSS en véhicules, infrastructures et services et intégration des composantes du PSS dans les approches PLM et SLM	101
Figure 3-14 Schéma d'interaction entre PLM et SLM pour le développement des PSS	102
Figure 3-15 Les choix de proposition au niveau des approches d'ingénierie impactent la proposition au niveau des processus, méthodes et outils.....	103
Figure 3-16 Apports principaux de la proposition pour les processus méthodes et outils.	104
Figure 3-17 Carte heuristique des besoins exprimés d'ingénierie des PSS.....	105
Figure 3-18 Processus global d'ingénierie des PSS proposé	107
Figure 3-19 Apports spécifiques de la proposition dans la démarche de conception des PSS automobiles.....	108
Figure 3-20 Proposition de méthode de gestion de la diversité des PSS déclinée en deux axes	110
Figure 3-21 Les modèles de référence et spécifiques aux activités au long du cycle de vie des PSS.	116
Figure 3-22 Utilisation des modèles de référence au long du cycle de vie du PSS.....	117
Figure 3-23 Les différents descripteurs et vues sont centralisées autour de la vue structurelle	118
Figure 3-24 Modélisations spécifiques pour la conception des PSS.....	119
Figure 3-25 Liens entre architectures fonctionnelles et structurelles et vues de composition ou vues comportementales.....	120

Figure 3-26 Diagramme de cas d'usage générique.....	121
Figure 3-27 Modèle d'architecture fonctionnelle arborescente représentant la composition du PSS en fonctions	122
Figure 3-28 Modèle d'architecture fonctionnelle modélisée par les lois d'entrée/sortie et les flux	122
Figure 3-29 Diagramme de classe du modèle d'architecture fonctionnelle.....	123
Figure 3-30 Modèle d'architecture structurelle du PSS.....	123
Figure 3-31 Diagramme de classe du modèle d'architecture structurelle	124
Figure 3-32 L'allocation fonctionnelle relie l'architecture fonctionnelle et l'architecture structurelle	125
Figure 3-33 Diagramme de classe du modèle combiné d'architectures fonctionnelle et structurelle.....	125
Figure 3-34 La capacité est le pivot entre les fonctions et les éléments de solution de produit ou de service	126
Figure 3-35 Association entre types d'exigences et modèles de conception des PSS.....	127
Figure 3-36 Modèle des exigences de la proposition	127
Figure 3-37 Focus sur la description de la diversité.....	129
Figure 3-38 Diversité dans l'architecture fonctionnelle	130
Figure 3-39 Modèle de donnée relatif à la relation entre fonctions génériques et variantes de fonctions.....	130
Figure 3-40 Illustration de l'applicabilité produit pour associer les variantes de fonction à des critères de diversité	131
Figure 3-41 Déclinaison d'un élément de système en variantes décrites par des applicabilités	131
Figure 3-42 Diagramme de classes de la description de la diversité des éléments du système	132
Figure 3-43 Focus sur la gestion de configuration	132
Figure 3-44 Matrice des interdépendances entre les variantes de solution du système.....	133
Figure 3-45 Allocation fonctionnelle dans le cadre de la diversité des éléments de solution	134
Figure 3-46 Matrice de capacité pour l'allocation fonction-solution intégrant des critères de diversité.....	135
Figure 3-47 Illustration de l'intégration des scénarios de fonctionnement dans les variantes de fonctions.....	136
Figure 4-1 Démarche de choix du sujet du cas d'étude n°1	139
Figure 4-2 illustration de la table d'évaluation des sujets par indicateurs pour chaque livrable	141
Figure 4-3 Le PSS concerné dans le service d'approvisionnement de pièces de rechange	142
Figure 4-4 Présentation du service d'approvisionnement de pièces de rechange.....	142
Figure 4-5 Exemple de l'intervention de l'assistance technique dans le service d'approvisionnement de pièces de rechange	143
Figure 4-6 Périmètre du système pour le service d'approvisionnement de PR.....	147
Figure 4-7 Diagramme de cas d'usage du service d'approvisionnement de PR	147
Figure 4-8 Vue de composition de l'architecture fonctionnelle du PSS	148
Figure 4-9 Capture d'écran du logiciel d'accès au catalogue des pièces de rechange	149
Figure 4-10 Vue comportementale de l'architecture fonctionnelle.....	149
Figure 4-11 Matrice de capacité pour l'allocation fonctionnelle du PSS.....	150
Figure 4-12 Architecture structurelle du PSS.....	151
Figure 4-13 Association des solutions de service (en haut) aux infrastructures de service (en bas)	151
Figure 4-14 Architecture structurelle du produit, avec la variante et son applicabilité. À gauche, générique, à droite, exemplifiée.....	152
Figure 4-15 Données associées à un ticket GAR	153
Figure 4-16 Métamodèle des données associées au ticket GAR et utilisées dans l'outil de mesure	153
Figure 4-17 Exemples génériques des vues de l'outil d'analyse TIBCO Spotfire.....	155
Figure 4-18 Écran de filtrage de l'outil d'analyse des tickets GAR.....	156
Figure 4-19 Une vue croisant problème de service et architecture structurelle du véhicule dans l'application Tibco Spotfire	157

Figure 4-20 Score de proportion des tickets relatifs aux critères de diversité, anonymisés	158
Figure 4-21 Service existant de diagnostic du véhicule	160
Figure 4-22 Périmètre du système pour le service de diagnostic connecté	165
Figure 4-23 Diagramme de cas d'usage du service de diagnostic connecté pour la phase d'utilisation	165
Figure 4-24 Instance de PSS pour le diagnostic connecté	166
Figure 4-25 Association des éléments via URL du cadrage du PSS à l'instance de PSS « Diagnostic connecté »	166
Figure 4-26 Vue comportementale des fonctions au niveau 0 et 1.....	167
Figure 4-27 Vues comportementales des fonctions au niveau 2.....	168
Figure 4-28 Vues comportementales des fonctions F31 et F32 au niveau 3	169
Figure 4-29 Architecture fonctionnelle du diagnostic connecté	169
Figure 4-30 Fonctions et variantes de fonctions du diagnostic connecté	170
Figure 4-31 Représentation des variantes de fonctions et de leur applicabilité aux critères	171
Figure 4-32 Matrice des capacités pour l'allocation fonctionnelle	172
Figure 4-33 Architecture structurelle du produit	173
Figure 4-34 Architecture structurelle du service	174
Figure 4-35 Éléments de solution génériques et leurs variantes	174
Figure 4-36 Association des infrastructures aux solutions de services	175

Table des tableaux et encadrés

Tableau 1-1 Définitions de PSS dans la littérature de 1999 à 2013 (classés chronologiquement).....	11
Tableau 1-2 Les trois classes d'acteurs de service et des exemples de sous-classe dans le contexte automobile	14
Tableau 2-1 Liste de différentes approches mises en œuvre dans l'industrie	33
Tableau 2-2 Synthèse de la correspondance des critères d'analyse aux processus d'ingénierie système.....	45
Tableau 2-3 Synthèse des apports et limites des contributions au niveau des approches d'ingénierie	47
Tableau 2-4 Déclinaison des critères d'analyses en points d'attention pour les processus	49
Tableau 2-5 Apports des processus de développement de PSS en regard des critères d'analyse	55
Tableau 2-6 Déclinaison des critères d'analyses en points d'attention pour les méthodes et outils.....	56
Tableau 2-7 Apports des méthodes et outils de développement de PSS en regard des critères d'analyse.....	68
Tableau 2-8 Déclinaison des critères d'analyse en points d'attention pour les modèles de PSS	70
Tableau 2-9 Repositionnement du Basic Element Model dans les concepts précédents	78
Tableau 2-10 Descripteurs issus de l'état de l'art.....	83
Tableau 2-11 Correspondances entre les descripteurs et les vues issues de l'ingénierie système	84
Tableau 2-12-13 Apports des modélisations de PSS en regard des critères d'analyse	85
Tableau 3-1 Synthèse des interactions PLM-SLM selon le modèle des 5 dimensions.....	97
Tableau 3-2 Eléments physiques et intangibles du PSS.....	100
Tableau 3-3 Les contraintes en œuvre dans la gestion de la diversité	111
Tableau 3-4 Correspondance entre contraintes et démarches	112
Tableau 3-5 Illustration des objets et critères de diversité	113
Tableau 3-6 Réponse aux critères d'analyse pour les processus, méthodes et outils d'ingénierie.....	115
Tableau 3-7 Réponse aux critères d'analyse pour les modélisations de PSS.....	137
Tableau 4-1 Phases du cycle de vie du service d'approvisionnement des PR	146
Tableau 4-2 La typologie des problèmes possibles et leur association aux sous-services	154
Tableau 4-3 Extrait de la composition du véhicule en sous-systèmes	155
Tableau 4-4 Phases du cycle de vie du diagnostic connecté	164
Encadré 1-1 Définition du PSS adoptée	12
Encadré 1-2 Problématique de recherche	19
Encadré 2-1 Liste des mots clés utilisés pour la recherche bibliographique	32

Table des abréviations

Général

3S :	Service Support System
ACV :	Analyse du Cycle de Vie
BM :	<i>Business Management</i>
CRM :	<i>Customer Relationship Management</i>
ED :	<i>Engineering Design</i>
ERP :	<i>Entreprise Ressource Planning</i>
FBD :	<i>Functional Block Diagram</i>
FBS :	<i>Function, Behaviour, Structure</i>
FBS-PPRE :	<i>Function, Behaviour, Structure, Product, Process, Ressource, External effect</i>
IDEF :	<i>Icam DEFinition for Function Modeling</i>
IHM :	Interface Homme Machine
IS :	<i>Information Systems</i>
IS :	Ingénierie Système
LDRT :	<i>Lean Design Rule and Technique</i>
MOA :	Maitrise d’Ouvrage
MOE :	Maitrise d’Œuvre
MPSD :	<i>Modular Product-Service Development</i>
MRP :	<i>Material Requirement Planning</i>
PDM :	<i>Product Database Management</i>
PGI :	Progiciel de Gestion Intégré
PSDM :	<i>Product-Service Data Management</i>
PSLM :	<i>Product-Service Lifecycle Management</i>
PSS :	<i>Product-Service System</i>
SADT :	<i>Structured Analysis and Design Technique</i>
SCM :	<i>Supply Chain Management</i>
SGDT :	Systèmes de Gestion des Données Techniques

Automobile

DM :	<i>Dealer Management</i>
DTC :	<i>Data Trouble Code</i>
E&R :	Entretien et Réparation
ECU :	<i>Electronic Control Unit</i>
GAR :	Gestion des Alertes Réseau
iDAV :	direction de l’Ingénierie Après-Vente Renault
TSP :	<i>Third party Service Provider</i>

Introduction et structure du manuscrit

Cette thèse présente les travaux de recherche réalisés au cours de mon doctorat qui abordent le développement et la gestion en contexte automobile de systèmes intégrés de produits et services aussi connu comme les *Product-Service Systems* (PSS). Ils mettent en œuvre des approches du *Product Lifecycle Management* (PLM), du *Service Lifecycle Management* (SLM) ainsi que de l'ingénierie système. Ces travaux sont réalisés conjointement à un projet industriel porté par une Convention Industrielle de Formation par la REcherche (CIFRE) au sein de l'entreprise Renault et accompagne la transition de cette entreprise vers les nouveaux services automobiles. Ils proposent un cadre méthodologique de mise en œuvre pour le développement et la gestion de PSS conformément aux besoins et standards de l'industrie automobile. Ce cadre est composé de processus, méthodes et outils de développement et gestion adaptés aux PSS et sont basées sur une approche d'ingénierie dirigée par les modèles.

Le chapitre 1 présente une analyse du contexte industriel sous-jacent au développement des PSS, qui est ensuite déclinée en objectifs industriels et problématiques scientifiques. Le contexte est décrit par l'évolution des systèmes que développent les entreprises manufacturières et ce que cela implique sur les méthodologies de développement de ces systèmes. Historiquement conçus comme des produits, ces systèmes évoluent vers des systèmes combinés de produits et de services. En conséquence, leur développement doit évoluer pour être apte à intégrer les nouvelles dimensions techniques induites par les services et leurs interactions avec les produits. Cette question est traitée à travers les approches d'ingénierie qui supportent le développement des produits et des services. La problématique de recherche de ces travaux s'intéresse à comment des approches d'ingénierie permettent de résoudre ces verrous. Elle est précisée par sept critères d'analyse qui représentent les enjeux ciblés par les travaux pour le développement des PSS dans l'industrie automobile. Afin de traiter la problématique dans ce projet aux dimensions scientifiques, les objectifs scientifiques et industriels des travaux sont définis et traités dans la méthodologie de recherche qui est traitée en fin de chapitre.

Le chapitre 2 se consacre à l'analyse de l'état de l'art scientifique au regard de la problématique. Pour cela, un cadre structurant les travaux est défini en trois couches, qui accueillent trois niveaux de réflexion des travaux. La première couche s'intéresse aux approches d'ingénierie en général en tant que bases stratégiques et organisationnelles pour le développement des PSS. La seconde couche s'intéresse aux processus, méthodes et outils mis en œuvre dans le développement des PSS. Enfin, la troisième couche s'intéresse aux différentes formes de modélisation employées pour le développement des PSS. Pour chacune de ces couches, les contributions scientifiques sont analysées en regard des sept critères définis en contexte. À l'issue de cette analyse de l'état de l'art, nous avons identifié des connaissances pertinentes pour répondre à la problématique ainsi que des manques auxquels le chapitre suivant propose une réponse.

Le chapitre 3 présente la proposition d'un cadre méthodologique en réponse à la problématique, à chaque niveau de réflexion défini précédemment. Au niveau des approches d'ingénierie, la proposition consiste à développer et gérer les PSS grâce aux approches PLM et SLM mises en œuvre de façon intégrée. Cette intégration est élicitée grâce à l'ingénierie système. Cela se traduit au niveau des processus, méthodes et outils par un cadre méthodologique de développement et gestion de PSS employant des démarches d'ingénierie des exigences, de conception des architectures fonctionnelles,

comportementales et structurelles, ainsi que de management de la diversité. Des modélisations de PSS sont proposées en troisième niveau en respect des processus et méthodes de développement définis.

Le chapitre 4 présente la mise en œuvre de cette proposition dans le contexte industriel à travers deux cas d'étude. Le premier cas d'étude est un service existant dans l'automobile d'approvisionnement de pièces de rechange. Cette application permet d'une part de qualifier la proposition en ce qu'elle répond à la problématique, mais aussi d'illustrer comment elle est appliquée dans un contexte industriel. Le second cas d'étude est un service de diagnostic connecté, qui n'est pas encore en place dans l'automobile. Ce service s'inscrit dans un PSS qui intègre l'ensemble des enjeux que nous avons ciblé en contexte et permet de mettre en œuvre la proposition plus largement que le premier cas d'étude.

Le chapitre 5 conclut ce manuscrit par une synthèse critique des contributions scientifiques qu'apportent ces travaux, ainsi que de l'impact industriel. Enfin, elle analyse en quoi les travaux menés pourront être poursuivis dans de futurs axes de recherche.

Chapitre 1 Contexte

Ce chapitre présente les éléments de contexte et de positionnement des travaux développés dans ce manuscrit. Ces travaux de thèse viennent en support au développement des offres automobiles innovantes combinant produits et services.

Les entreprises manufacturières font face à une compétitivité croissante dans un marché global, contingent à des contraintes économiques, législatives et de disponibilité des ressources. Une voie pour perdurer dans ce contexte est la transformation de leurs offres. De nouveaux leviers de croissance économique résident pour ces entreprises dans l'orientation vers des offres intégrées de produits et de services. Cette transition s'est déjà démontrée efficace pour plusieurs entreprises, dans le domaine de la téléphonie avec l'avènement des smartphones ou dans le domaine des systèmes aéronautiques par exemple. Rolls-Royce, un fournisseur majeur de turboréacteurs pour l'aviation commerciale, a notamment été précurseur de cette intégration produit-service avec son offre TotalCare. Cette offre transforme la relation avec ses clients, en passant de la vente de motorisation avec des opérations de maintenance ponctuelles en la vente d'heures de vol des moteurs et une prise en charge plus complète de celui-ci sur son cycle de vie : « *TotalCare is charged on a fixed \$ per flying hour basis, so we are only rewarded for engines that perform. This rewards reliability, a factor valued most highly by our airline customers* »¹. Grâce à la connectivité des moteurs, Rolls Royce utilise des technologies de Big Data et pratique de la maintenance proactive. Ainsi, les intervalles entre deux opérations d'entretien des moteurs est allongée de 25% et leur durée de vie est accrue.

Pour les entreprises, l'orientation vers des offres de produit et de service permet alors de réduire certains risques, de se démarquer de la concurrence des produits similaires ou d'atteindre des objectifs de réduction de l'empreinte écologique. Des offres combinées de type Systèmes Produit-Service (*Product-Service System – PSS*) permettent aussi d'améliorer la fidélité des clients et d'optimiser le positionnement de l'offre en regard des besoins des attentes des utilisateurs. Ces offres transforment la relation entre l'entreprise et le client, historiquement construite sur un acte d'achat ponctuel, vers une transaction basée sur les services que l'entreprise offre. Les services permettent en effet d'être au plus près de l'utilisateur et du client, de mieux comprendre ses préférences, ses usages et de lui fournir des offres plus personnalisées, plus souvent et de manière plus pertinente.

L'industrie automobile connaît elle-aussi des obstacles à une croissance basée sur des offres de produit. Les bénéfices issus de la vente des véhicules sont menacés par la guerre des prix sur un marché qui reste très ouvert à la concurrence pour des équipements de véhicule qui tendent à s'uniformiser. Selon l'Observatoire Cetelem de l'Automobile, la fidélité envers les constructeurs automobile tend vers des niveaux relativement faibles : 34 % des clients répètent leur achat automobile auprès de la même marque. D'après les résultats d'un sondage qu'ils ont réalisé, il est indispensable pour les constructeurs automobiles de transformer leur relation avec les clients en une relation personnalisée centrée sur l'expérience client et intégrant les services digitaux². Les leviers de fidélité pour les constructeurs passent par une qualité de service irréprochable (87% des sondés). En parallèle, l'automobile se

¹ <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2017/totalcare.aspx>

² <https://observatoirecetelem.com/observatoire-cetelem-de-lautomobile/fidelite-attention-fragile/jouer-sur-differents-leviers/>

transforme radicalement, en devenant une plateforme de services. Selon le cabinet d'études Deloitte³, 100% des véhicules neufs disposeront de services connectés en 2025 et les véhicules connectés permettent d'augmenter la fidélité de 15 à 20%.

Ainsi, dans l'industrie automobile les offres historiquement centrées sur le produit automobile (véhicule et accessoires) évoluent vers des offres de produits et de services, intégrant des nouvelles formes de mobilité. La connectivité, les technologies de l'information et du multimédia, centralisées ou embarquées dans les véhicules ouvrent la voie à de nouvelles fonctionnalités relevant du domaine du service. Les constructeurs automobiles font face à un nouveau défi : alors qu'ils sont largement expérimentés et à la pointe dans la conception de véhicules et leur industrialisation, l'offre sur laquelle ils se sont développés se transforme radicalement et intègre également la proposition de services. C'est à la fois la culture de l'entreprise et les moyens qu'elle a construits sur plusieurs décennies qui sont confrontés à un objet nouveau, qui met en œuvre des technologies innovantes et ouvre des marchés nouveaux mais demande des cycles de développement différents.

Développer et gérer des offres intégrées de produits et de service doit être supporté par des approches, cadrant les activités d'ingénierie et structurant les connaissances développées lors de ces activités. Or, les approches d'ingénierie existantes dans l'industrie automobile ont été développées pour l'ingénierie des produits et ne suffisent pas à supporter les nouveautés issues de la transition vers des offres de produits et services. Ces offres de produits et de service sont définies dans la suite grâce au concept de PSS. La transition vers ce type d'offres est présentée, avec un focus sur l'industrie automobile. Le contexte des approches d'ingénierie est introduit afin de positionner la problématique traitée dans ces travaux. Enfin, la méthodologie de ces travaux de recherche est présentée. Elle démontre comment les deux facettes d'une thèse CIFRE, industrielle et académique, constituent des apports dans la définition de la problématique, l'état de l'art, la proposition et sa mise en œuvre. Les travaux présentés ici ont été réalisés dans le cadre d'un partenariat avec l'entreprise Renault, au sein de la direction de l'Ingénierie Après-Vente (iDAV). Cette direction de l'entreprise est une partie prenante majeure dans le développement des véhicules. Elle est définie comme l'entité de l'entreprise qui réalise les études techniques des activités d'Entretien et Réparation (E&R). Cette direction est un acteur incontournable dans le développement des services automobiles de l'entreprise notamment parce qu'elle a pour mission d'assurer la réparation des services vendus aux clients et parce qu'elle est impactée par les nouveaux services liés à la maintenance.

³ <https://www.deloitte-france.fr/>

1.1. L'ingénierie des services, une évolution stratégique de l'industrie automobile

Dans la partie suivante, nous présentons les évolutions de l'industrie automobile vers les nouvelles offres combinant produits et services.

1.1.1. L'évolution d'offres produit vers des Product-Service System

La transition vers des offres intégrées de produits et de services, vécue par les constructeurs automobiles, prend une importance grandissante dans le domaine scientifique. En effet, les théories et pratiques du génie industriel s'intéressent aux nouveaux enjeux issus de cette transition.

Pour accompagner avec pertinence les évolutions que conduit un constructeur automobile, il est important de caractériser la transition de son orientation vers le développement et la gestion des PSS. Comme présenté en Figure 1-1, la transformation d'une entreprise fortement centrée sur les produits vers les services est théorisée sous le terme de *servicization* (Baines et al., 2007) dont un exemple est l'arrivée des services connectés en automobile. La transformation opposée est nommée *productization*.

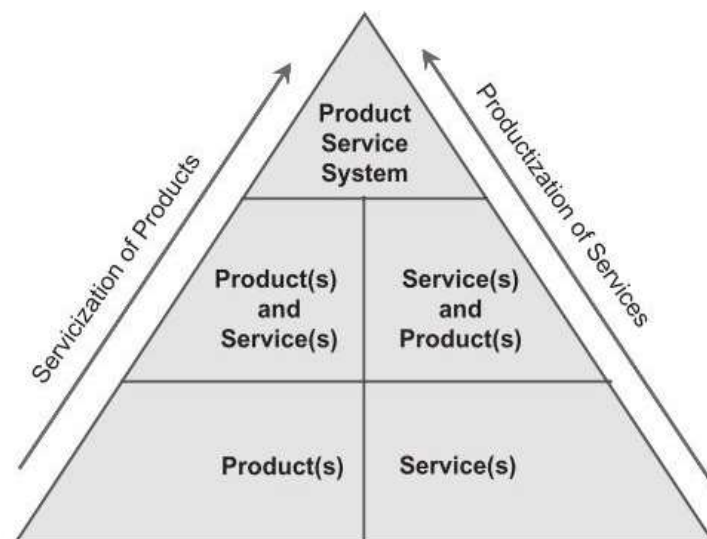


Figure 1-1 Les schémas d'évolution vers un PSS (Baines et al., 2007)

En observant les activités des entreprises manufacturières, on remarque qu'il existe rarement des offres purement produit. La mise en œuvre d'un produit est fréquemment accompagnée de services marchands ou non marchands encadrant la relation entre le client et le fournisseur (garantie, service après-vente, formations à l'usage du bien etc.). C'est historiquement le cas de l'industrie automobile. Néanmoins, une majeure partie de la valeur captée par les constructeurs est réalisée par la production et la vente de véhicules et accessoires. Cette situation évolue du fait de la croissance des offres de services automobiles.

1.1.2. La servicization du secteur automobile

Au sein de l'entreprise Renault, le concept de PSS se décline dans une conceptualisation opportune des nouvelles offres proposées par le constructeur combinant produits et services. Il

développe de nouveaux services rendus possibles grâce aux évolutions technologiques issues de la connectivité et rendus pertinents dans un marché hautement concurrentiel pour lequel ils représentent un nouveau levier de croissance. L'industrie automobile rencontre un fort changement de paradigme. Les évolutions technologiques principales observées sont celles de la connectivité des véhicules et de la pénétration des usages d'Internet pour le client, avec par exemple l'utilisation du smartphone pour des services liés au véhicule. Ceci rend possible un paradigme automobile différent, fait d'interactions plus riches avec le client et centrées sur l'usage, des nouvelles mobilités (multimodales et partagées) et des nouvelles capacités d'autonomie de la conduite. Aussi, l'automobile rencontre des enjeux liés à l'environnement, visant notamment l'optimisation des consommations d'énergie et la réduction de l'impact écologique des biens manufacturés. Toutes ces nouveautés sont déjà offertes au client pour certaines offres, et d'autres sont préfigurées notamment par le concept-car de véhicule électrique, autonome et connecté Symbioz (voir Figure 1-2, a), b) et c)). Au-delà de ce concept-car, les constructeurs automobiles proposent de nombreux usages à dominante de services, tels que l'*infotainment* intégré dans les systèmes multimédias du véhicule qui fusionne les usages d'*information* et d'*entertainment* (divertissement), une assistance avancée dans la prescription et la réalisation des opérations d'E&R ou encore des services de robot-taxi présenté en Figure 1-2 d).

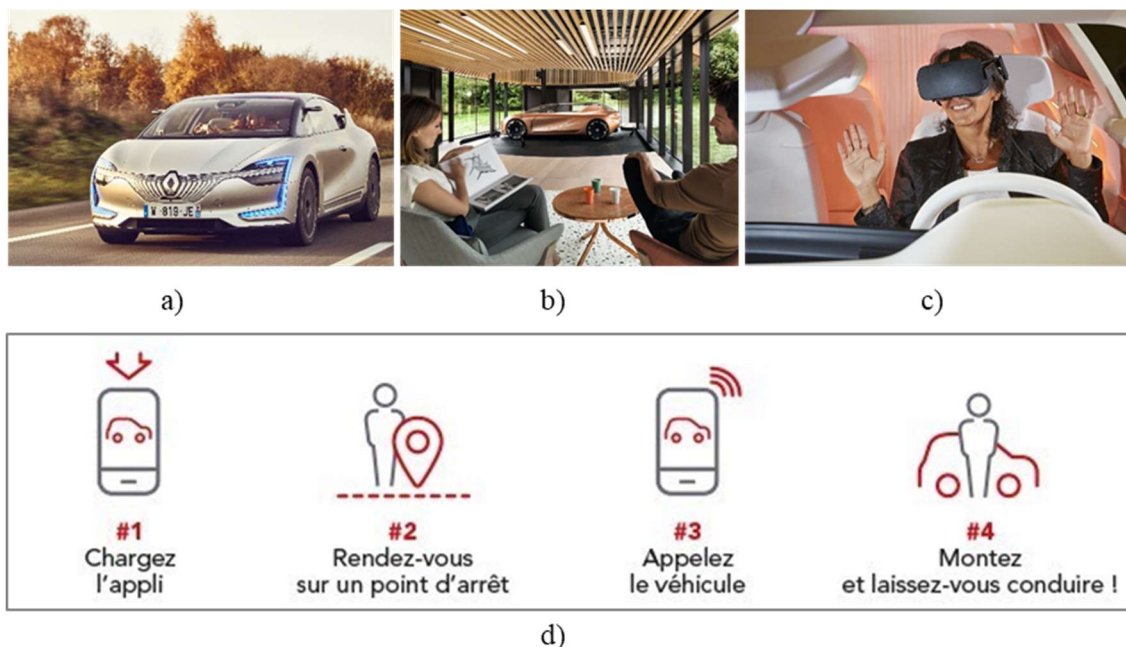


Figure 1-2 Préfiguration des PSS automobiles futurs

- a) Le Concept-car Renault Symbioz, un véhicule autonome
- b) Intégration du Symbioz dans l'expérience client au-delà de la conduite,
- c) L'enrichissement des IHM dans le véhicule : l'exemple de la réalité virtuelle,
- d) Un cas d'usage de service intégrant véhicule, connectivité, autonomie et nouvelles mobilités

Source : Renault Presse

Ainsi, à des fins de contextualisation, on représente l'offre globale du constructeur automobile comme un ensemble d'offres unitaires sur un continuum produit-service. Le barycentre de ces offres désigne la nature globale de l'offre. Sur la Figure 1-3, on retrouve son application au cas automobile. Dans cette représentation, un extrême du côté du produit serait la vente un véhicule, dénué de garantie, de conseils à la vente ou d'autres services et un extrême du côté du service serait une course en taxi. La taille du losange représente le poids de l'offre dans l'entreprise. L'offre historique d'un constructeur

automobile n'est pas un pur produit, car autour de la vie du véhicule, il apporte des bénéfices au client par des conseils à la vente, des services de maintenance et de garantie ainsi qu'une assistance à l'usage. Cette figure montre également que l'offre historique de Renault, tout comme celle de ses concurrents, avait son barycentre beaucoup plus proche du produit ('P') que du service ('S'). De plus, les services apportent peu de valeur d'usage au client, à l'instar des services de maintenance et garantie qui ont pour finalité d'assurer l'état de fonctionnement du véhicule.

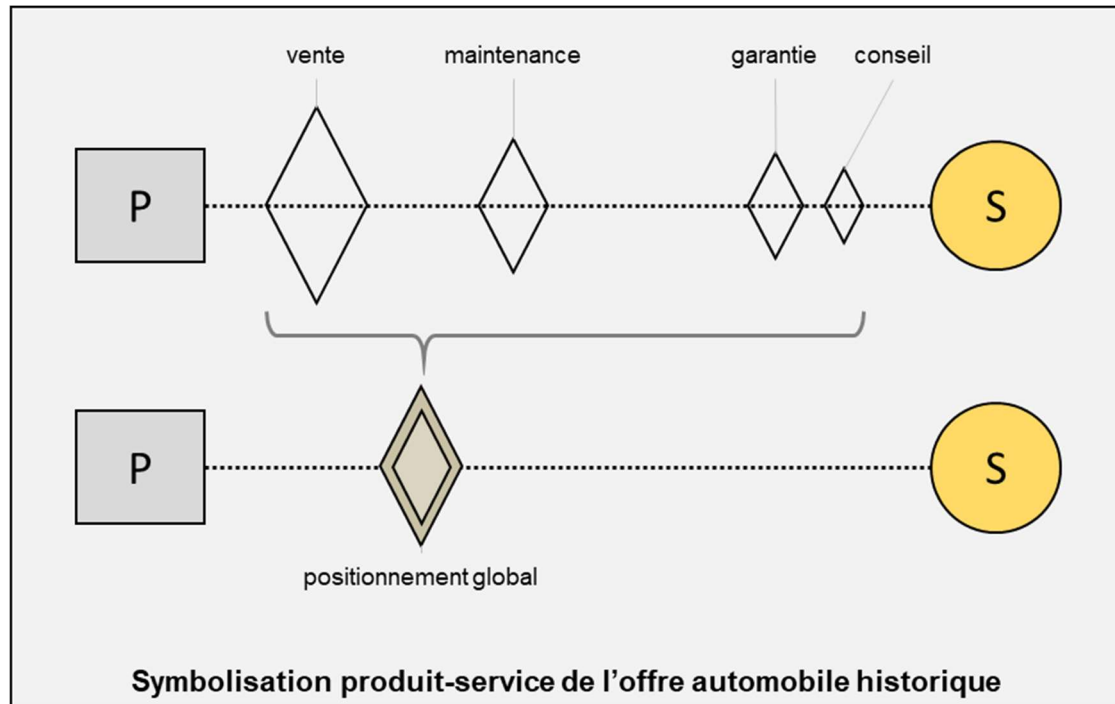


Figure 1-3 Une symbolisation du continuum produit-service des offres automobiles historiques

En reprenant la logique et les graphismes de la Figure 1-3, la Figure 1-4 synthétise l'offre automobile future : l'offre de produits historique est enrichie de services. Bien que l'entreprise n'ait pas vocation à arrêter la vente de véhicules, l'offre s'oriente vers de nouveaux usages du véhicule, voire de la mobilité. C'est une *servicization* qui est opérée dans ce contexte industriel.

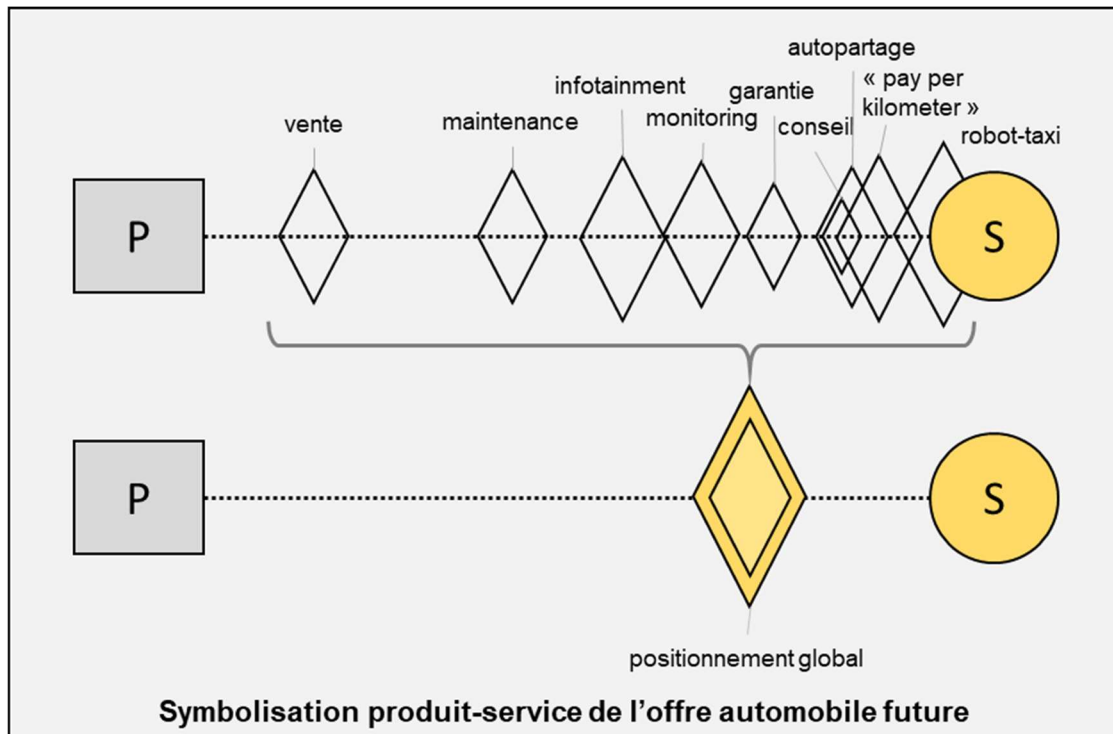


Figure 1-4 Symbolisation de l'offre automobile future

Cette orientation implique que le constructeur automobile doit intégrer des dimensions servicielles aux offres de produits et ce, dès les phases de conception. La *servicization* de l'offre automobile se traduit donc dans de nouvelles problématiques dans la pratique de l'ingénierie des PSS.

Dans la suite du manuscrit, nous utilisons un code couleur pour différencier les services (en orange), les produits (en gris) et les PSS (en dégradé gris-orange)

PSS
Service
Produit

Les travaux de recherche s'inscrivent dans ce domaine et s'intéressent à la question : comment des approches d'ingénierie spécifiques peuvent supporter l'ingénierie des PSS dans un contexte de *servicization* ? Des éléments de positionnement viennent préciser cette question dans les sections suivantes.

1.2. Positionnement des travaux de recherche

Afin de préciser le contexte, le paragraphe suivant présente des concepts centraux aux travaux de recherche sur lesquels repose la problématique scientifique. Il s'agit du concept de PSS et des approches supportant les activités d'ingénierie.

1.2.1. Caractérisation du PSS dans la littérature

Le concept de PSS est une notion large relevant de plusieurs domaines d'application. Il est cité entre autres dans l'application de stratégies commerciales, de méthodes de conception ou de développement durable. La littérature scientifique relative au PSS est sensiblement vaste, les

paragraphe suivants précisent notre positionnement ainsi que l'acceptation du concept de PSS utilisé dans ce manuscrit.

1.2.1.1. Domaines de recherche traitant du PSS

Dans la bibliographie, le concept de PSS est utilisé par plusieurs domaines de recherche. Dans une revue datant de 2013, Boehm et Thomas ont classé 265 articles relatifs au PSS selon trois domaines : les systèmes d'information (*Information Systems* - IS, 45 articles soit 15%), le *Business Management* - BM (77 articles soit 29%) et l'ingénierie de conception (*Engineering Design* - ED, 147 articles soit 55%). Le domaine IS démontre une forte utilisation des outils digitaux pour les PSS, notamment parce que la réalisation du service nécessite de traiter de l'information en grande quantité et emploie des systèmes informatiques et de communication. Le domaine BM recense particulièrement les problématiques de stratégie d'entreprises ou les enjeux organisationnels ainsi que l'aspect marketing. Le domaine ED est majoritaire. Il se concentre sur la conception et les méthodes associées, la réalisation et l'opération des PSS.

En reprenant les domaines de recherche présentés ci-avant, ces travaux s'inscrivent en *Engineering Design* pour la conception de PSS, mais ils découlent d'un contexte fortement marqué par des orientations stratégiques relevant du *Business Management*. De plus, les technologies et techniques développées sont majoritairement issues de l'Information System. La Figure 1-5 illustre ce positionnement des travaux selon ces trois disciplines, ED, BM et IS.

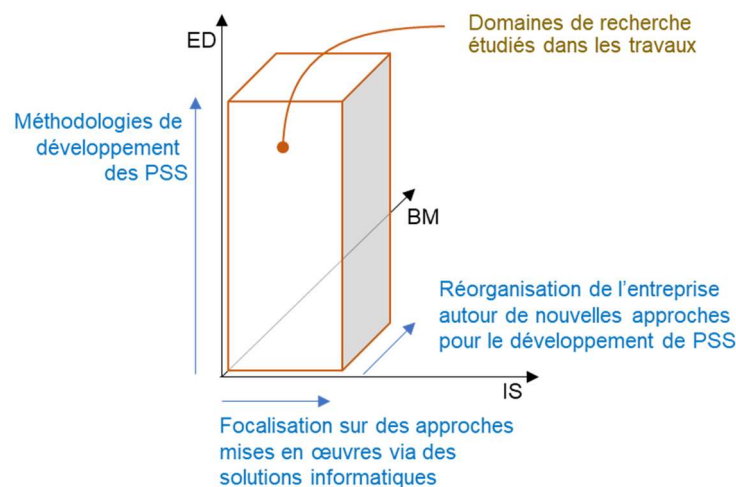


Figure 1-5 Positionnement de ces travaux selon la classification des domaines de recherche de (Boehm et al., 2013)

1.2.1.2. Définitions du PSS

Les offres de produits et services s'appuient sur plusieurs concepts dans la bibliographie. Parmi les plus cités, on retrouve *Product-Service System* (Goedkoop et al., 1999), *Integrated Product-Service* (Park et al., 2012), *Integrated Product-Service Offering* (Komoto et al., 2009; Lindahl et al., 2014), *Industrial Product-Service System* (Meier et al., 2011), *Sustainable Product-Service System* (Roy, 2000). Des nuances apparaissent grâce à ces concepts, mais ils ont tous en commun le fait de considérer une solution basée sur des composantes de produit et de service donnant une importance forte aux interactions entre ces composantes. Les offres intégrées de produit-service (*Integrated Product-Service Offering*) et le *Sustainable Product-Service System* sont plus souvent employés pour des problématiques

propres au développement durable, dont un des usages fréquents est le support à l'Analyse du Cycle de Vie - ACV. L'*Industrial Product-Service System* est quant à lui plus souvent utilisé dans un contexte manufacturier avec des enjeux d'intégration produit-service majoritairement centrés sur le cycle de production. Le concept de PSS reste quant à lui générique et applicable à une large plage d'applications.

Les prémices d'une offre conjointe de produits et de services sont théorisées par Rathmell en 1974 ; « *Services may be an accompanying sale of a product* » selon Pezzotta et al. (2014). La première formalisation du concept de PSS trouvée date de 1999 dans un rapport d'études gouvernemental (Goedkoop et al., 1999). L'étude de la bibliographie concernant le PSS donne 15 définitions fréquemment utilisées, synthétisées dans le Tableau 1-1. Une seconde partie des travaux se focalise sur la nature de l'offre en tant qu'objet technique. Dans cette catégorie, les définitions présentent l'offre comme un système, soit en employant directement le terme de système, soit en mentionnant l'intégration ou la combinaison des constituants du PSS dans le but de fournir une fonctionnalité ou de répondre à des exigences, ce qui caractérise un système.

Le concept de PSS est fréquemment associé à une finalité de développement durable (Goedkoop et al. 1999; Roy 2000; Mont 2002; Brandstotter et al. 2003; Baines et al. 2007). Dans un graphe de définition du concept de PSS proposé par Boehm et al. (voir Figure 1-6), les termes relatifs au développement durable ne sont pas des constituants intrinsèques du PSS (il s'agit des termes *sustainability, lower environmental impact, recycling* et *eco-efficiency*). Le développement durable semble prendre une place importante dans l'industrie automobile tant la mobilité routière implique d'enjeux sociaux, écologiques et économiques. La *servicization* de l'automobile est un levier possible pour la mise en œuvre de stratégies de développement durable. Bien que chacun s'accorde sur l'importance de ces notions, elles ne sont pas nécessaires à la bonne compréhension des travaux présentés ici. Dans l'intention de proposer une réflexion cadrant l'ingénierie des PSS, nous pensons que les notions de développement durable pourront être intégrés dans un second temps et les considérons dans les perspectives de ces travaux.

Les notions de fonctionnalité et d'usage sont récurrentes dans les définitions de la littérature. Elles sont nécessaires à l'objet d'étude de ce travail, les PSS automobiles. Le contexte industriel montre aussi une grande implication du réseau d'acteurs qui supportent la dimension service du PSS.

Auteur(s) et dates	Définitions
(Goedkoop et al., 1999)	<i>A product service-system is a system of products, services, networks of “players” and supporting infrastructure that continuously strives to be competitive, satisfy customer needs and have a lower environmental impact than traditional business models</i>
(Roy, 2000)	<i>Sustainable product-service [systems] consider alternative socio-technical systems that can provide the essential end-use function, such as warmth or mobility, that an existing product offers.</i>
(Mont, 2002)	<i>A PSS should be defined as a system of products, services, supporting networks and infrastructure that is designed to be: competitive, satisfy customer needs and have a lower environmental impact than traditional business models.</i>
(Manzini et al., 2003) d’après (Manzini & Vezzoli, 2002)	<i>An innovation strategy, shifting the business focus from designing (and selling) physical products only, to designing (and selling) a system of products and services which are jointly capable of fulfilling specific client demands.</i>
(Brandstotter et al., 2003)	<i>A PSS consists of tangible products and intangible services, designed and combined so that they are jointly capable of fulfilling specific customer needs. Additionally PSS tries to reach the goals of sustainable development.</i>
(Wong, 2004)	<i>Product Service-Systems (PSS) may be defined as a solution offered for sale that involves both a product and a service element, to deliver the required functionality.</i>
(Tukker, 2004)	<i>Tangible products and intangible services designed and combined so that they jointly are capable of fulfilling specific customer needs.</i>
(Meier et al., 2010) from (Meier et al., 2005)	<i>Industrial Product-Service Systems represents a paradigm shift in the definition of service performance in mechanical engineering by considering tangible and intangible goods in an integrated way.</i>
(Morelli, 2006)	<i>A PSS is attractive design solutions based on a mix of material and immaterial components, which satisfy the requirements of each of the stakeholder.</i>
(Tukker et al., 2006)	<i>A mix of tangible products and intangible services designed and combined so that they are jointly capable of fulfilling final customer needs.</i>
(Baines et al., 2007)	<i>A PSS is an integrated product and service offering that delivers value in use. A PSS offers the opportunity to decouple economic success from material consumption and hence reduce the environmental impact of economic activity.</i>
(Meier et al., 2011)	<i>The concept of product-service systems considers the integration of products and services to enable new business models aiming to fulfill customer needs.</i>
(Wang et al., 2011a, 2011b)	<i>The combination of tangible artefacts and intangible services.</i>
(Park et al., 2012)	<i>“Integrated product–service” (IPS), [is] any offering in which products and services are integrated, regardless of its type(s), objective(s), and feature(s).</i>
(Boehm et al., 2013)	<i>A PSS is an integrated bundle of products and services which aims at creating customer utility and generating value.</i>

Tableau 1-1 Définitions de PSS dans la littérature de 1999 à 2013 (classés chronologiquement)

La notion d’infrastructures support à la réalisation des PSS est mentionnée dans les définitions de (Goedkoop et al., 1999) et (Mont, 2002). Effectivement, lorsqu’il est question de considérer le PSS comme un objet de R&D, il apparait nécessaire de considérer les systèmes qui viennent supporter la réalisation des services, en plus des produits. Dans une perspective de l’ingénierie des PSS, nous intégrons cette notion dans la définition que nous utiliserons.

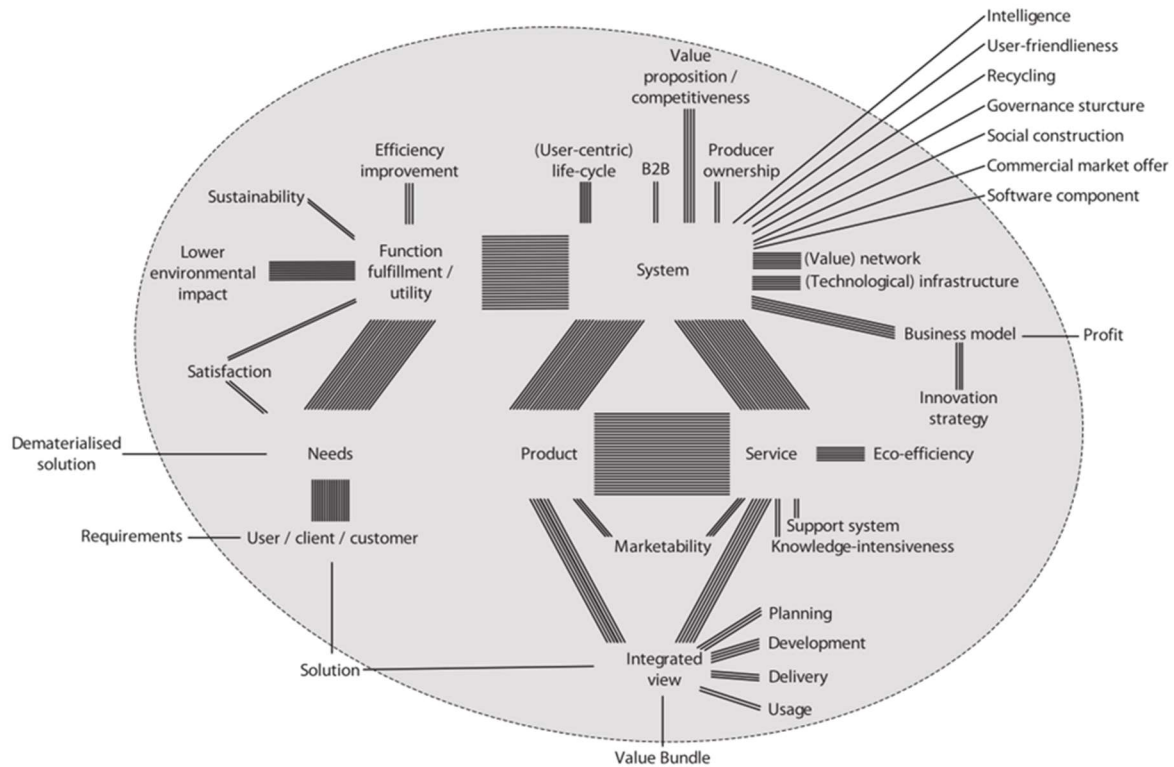


Figure 1-6 Graphe de définition du concept de PSS pour la discipline ED (d'après Boehm et al., 2013)

Aucune définition ne répond à l'ensemble des exigences que nous avons formulé pour ces travaux. Alors, dans le cadre du travail de recherche présenté ici, nous proposons de retenir la définition de PSS présentée ci-après :

Le concept de PSS désigne un système intégré de produits et services, potentiellement en interaction avec une infrastructure nécessaire à sa réalisation, visant à créer un bénéfice fonctionnel et/ou financier pour son bénéficiaire et/ou ses acteurs.

Encadré 1-1 Définition du PSS adoptée

Nous avons ainsi défini le PSS dans ces travaux de recherche. Développer et gérer un PSS est réalisé à travers un ensemble de concept. Cet ensemble de concept mis en œuvre pour le développement de PSS, que nous décrivons dans le paragraphe suivant, nous permet de structurer les travaux de recherche.

1.2.2. Cadre méthodologique considéré dans les travaux

Le PSS est donc décrit comme un système technique, répondant à des besoins et mettant en œuvre des solutions, qu'une entreprise développe. Nous appelons « cadre méthodologique » l'ensemble des moyens mis en œuvre par des entreprises pour rationaliser les activités de développement des systèmes. Ces travaux de recherches se consacrent au développement et à la gestion des PSS, le cadre méthodologique est donc notre objet de recherche. Dans une entreprise, l'ensemble des moyens mis en

œuvre est considéré dans un ensemble cohérent d'approches d'ingénierie. Le cadre méthodologique est donc d'abord constitué de ces approches d'ingénierie.

Une approche d'ingénierie est définie comme une démarche globale, située au niveau stratégique de l'entreprise, caractérisée par un ensemble de principes qui permettent le développement de systèmes. Elle préfigure un ensemble de positionnements arbitraires fondateurs dans la manière de considérer l'objet à développer ainsi que l'organisation accompagnant ce développement. Comme rappelé sur la Figure 1-7, elle se transpose en processus, méthodes et outils lorsqu'elle est mise en œuvre (Guerineau et al., 2018). Ces concepts, qui seront approfondis en première partie de l'état de l'art, décrivent eux aussi le contenu du cadre méthodologique considéré dans ces travaux.

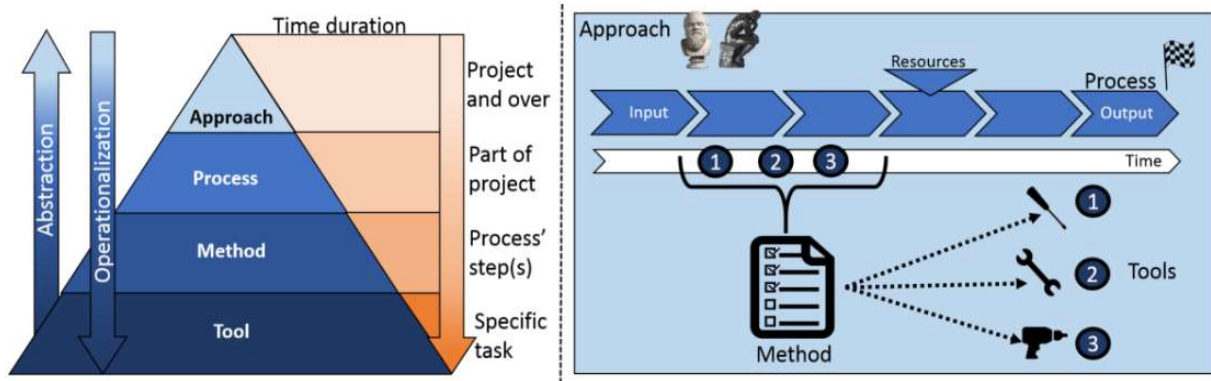


Figure 1-7 Classification en 4 niveaux pour le développement de système (Guerineau et al., 2018)

Cette classification en 4 niveaux permet de situer les différentes pratiques connues selon la nature de leur apport, leur niveau d'abstraction ou d'opérationnalisation. Ces concepts et relations sont présentés en Figure 1-8. Dans le cas d'une *servicization*, les représentations des systèmes subissent une évolution majeure en incluant la dimension servicielle du PSS. Afin d'utiliser cette formalisation des approches d'ingénierie pour structurer notre travail de recherche, nous l'enrichissons de la dimension « représentations de l'offre » qui vient conceptuellement en parallèle des processus, méthodes et outils.

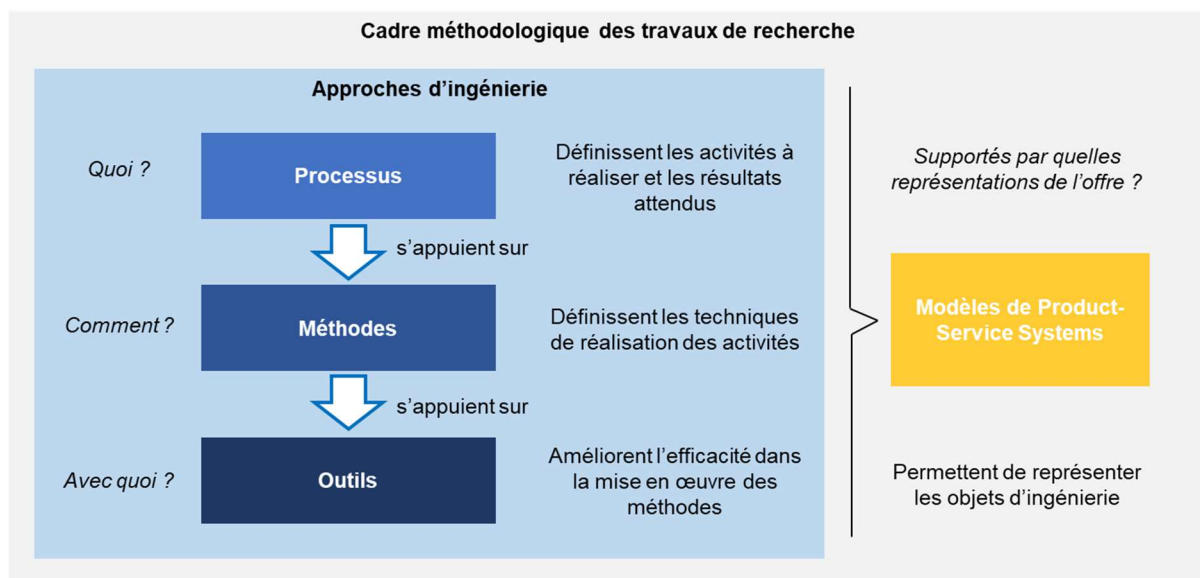


Figure 1-8 Le cadre méthodologique est constitué d'approches d'ingénierie détaillées par les processus, méthodes et outils, auxquelles nous ajoutons les modèles de PSS

Notre travail de recherche se concentre donc sur le cadre méthodologique que nous déclinons à travers 5 concepts : approches d'ingénierie, processus d'ingénierie, méthodes, outils et modèles de PSS. Tandis que les approches sont abordées pour leur haut niveau stratégique en entreprise, les processus, méthodes, outils et modèles sont abordés pour leurs aspects plus tactiques ou opérationnels.

Un cadre méthodologique dépend du contexte de l'entreprise qui le met en œuvre et de la nature des objets qu'il permet de développer et gérer. Par exemple, l'ingénierie logicielle n'utilise pas le même cadre méthodologique que l'ingénierie des travaux publics. Le positionnement des travaux dépend fortement de l'objet développé et géré par le cadre méthodologique, qui est donc détaillé dans la suite.

1.2.3. Caractérisation des PSS automobiles

Sur le plan industriel, les verrous rencontrés relèvent de la capacité à structurer l'information autour des services automobiles, mais également des processus de développement et de réalisation de ces services. En premier lieu, les praticiens impliqués dans le développement utilisent une démarche conservatrice en utilisant les approches déjà en place, focalisées sur le produit véhicule, pour gérer le PSS. Cependant, ces approches montrent les limites citées précédemment. Elles proviennent de la nature même des PSS et des éléments qu'il nécessite pour sa mise en œuvre.

1.2.3.1. L'exploitation d'acteurs de service : Le véhicule, la plateforme de cloud, le réseau physique

Un service dépend d'infrastructures nécessaires à sa réalisation. Ces infrastructures sont désignées « acteurs » car elles possèdent des limites claires, des facultés à réaliser des opérations, ainsi qu'une autonomie possible dans leurs activités. Dans le cas des PSS automobiles, ce peut être le véhicule, les plateformes logicielles cloud propres au constructeur ou aux partenaires de service (*Third party Service Provider*, TSP), le réseau physique acteur dans la réalisation de services ou les terminaux du client. Ces acteurs de service seront sollicités dans la réalisation de PSS automobiles et sont pris en compte lors de leur développement.

Classe d'acteur	Sous-classe d'acteur (exemples)	Systèmes (exemples)
véhicule	systèmes de conduite autonome	caméras, radar, lidar et calculateurs
	systèmes d'auto-diagnostic	<i>Electronic Computing Unit</i> (ECU), calculateurs
	interfaces homme-machine	écran multimédia, système audio

infrastructure logicielle	plateformes propres au constructeur	plateforme de récolte de données de conduite
	plateformes propres aux partenaires	plateforme d'autopartage externalisée

réseau physique	réseau de garages	concessionnaire de la marque
	autres réseaux des partenaires	parking à péage station service

terminaux du client	systèmes mobiles avec apps	smartphone, smartwatch, systèmes domotiques
	systèmes fixes	ordinateurs

Tableau 1-2 Les trois classes d'acteurs de service et des exemples de sous-classe dans le contexte automobile

Le Tableau 1-2 présente les quatre classes d'acteurs impliqués dans les PSS automobiles et des exemples illustrant ces classes. Le véhicule est une plateforme majeure des PSS automobiles, car il est le vecteur de la mobilité des clients, la source de données principales concernant les usages automobiles du client et un premier environnement connecté à disposition du client. Des infrastructures logicielles, intégrées grâce à la connectivité, jouent un rôle dans la récupération et le traitement des données nécessaires à -ou issues de- l'usage des PSS. Ces infrastructures peuvent appartenir au constructeur automobile ou à des entreprises tierces dans le cas par exemple des abonnements à des contenus multimédias. Les réseaux physiques considérés sont les lieux dans lesquels il y a une interaction entre le véhicule ou le client et un acteur physique de service. Enfin, les terminaux du client sont tous les moyens numériques de communication appartenant au client excepté le véhicule.

1.2.3.2. La capacité à réaliser un service pour des acteurs différents, illustration avec l'acteur véhicule

Le développement de services est une activité consommatrice de temps et coûteuse. La mutualisation des services entre plusieurs plateformes physiques, i.e. plusieurs véhicules, est donc un enjeu fort dans cette transformation vers les PSS. En d'autres termes, un service automobile peut être réalisé par plusieurs sous-systèmes du véhicules différents mais réalisant la même fonction globale. Par exemple, un service de diffusion de contenus multimédias dans un véhicule exploite l'interface utilisateur du véhicule et cette interface utilisateur peut varier d'un modèle de véhicule à l'autre. Ces acteurs ont éventuellement des capacités différentes et des processus de fonctionnement différents.

La Figure 1-9 illustre cette spécificité par l'exemple d'un service de profil conducteur (position du siège/rétroviseurs/hauteur du volant, contenus multimédias, contacts favoris etc.) et de son association à plusieurs modèles de véhicule différents. Dans cette illustration, un service de gestion du profil conducteur s'appuie sur quatre « facultés » du véhicule. Selon les modèles de véhicules du fournisseur de PSS, les véhicules sont dotés différemment et les solutions embarquées ont différentes caractéristiques. Certains systèmes vont être communs à plusieurs véhicules.

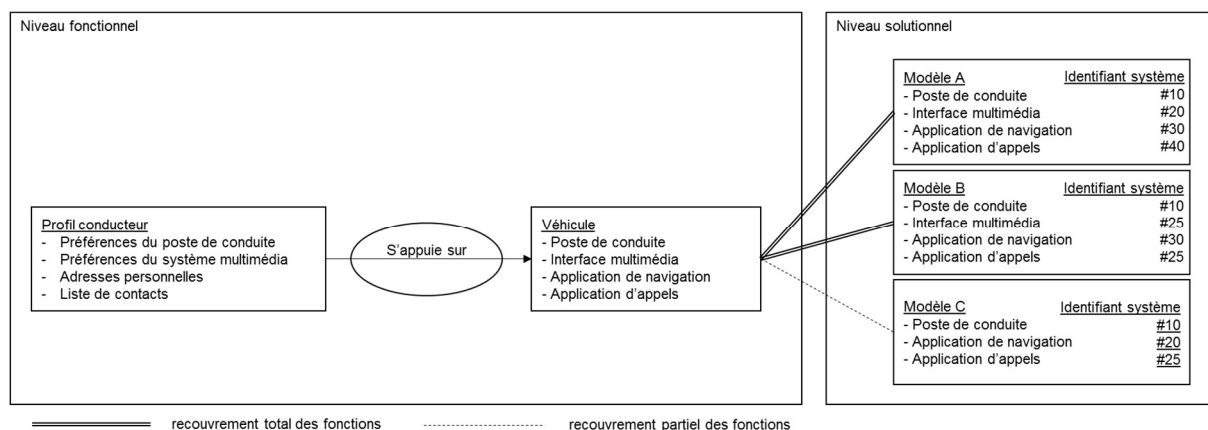


Figure 1-9 Illustration des relations produit-service par l'exemple d'un PSS "Profil conducteur"

Comme nous venons de le voir, il est nécessaire de gérer les interactions entre les produits et les services proposés. La Figure 1-10 présente les schémas d'interaction produit-service listés ci-dessous, en corrélation avec l'exemple décrit sur la Figure 1-9 :

- a. Similarité : un système est commun à plusieurs modèles (le poste de conduite #10 est présent dans tous les modèles),
- b. Différence : différents systèmes rempliront le même rôle (Interface multimédia, système #20 pour le modèle A et #25 pour le modèle B),
- c. Pluripotence : certains systèmes rempliront plusieurs rôles (Interface multimédia et Application d'appels, #25),
- d. Non-recouvrement fonctionnel : certains modèles ne satisferont pas tous les rôles attendus (absence de la fonctionnalité Interface Multimédia pour le modèle C).



Figure 1-10 Illustration des 4 schémas d'interactions produit-services

Cette première classification permet de mieux appréhender et qualifier les types d'interactions qu'il est nécessaire de gérer dans le cadre de la mise en place de PSS dans l'industrie automobile.

1.2.3.3. Les cycles de vie des véhicules et des services

Les cycles de vie des éléments de produit et de service peuvent être très différents, comme présenté en Figure 1-11. Dans le cas de l'industrie automobile, l'ordre de grandeur de la durée de

développement d'un véhicule est d'un à deux ans de conception préliminaire, deux ans de conception détaillée et jusqu'à dix ans de production et de commercialisation avant le lancement de son remplaçant sur son segment. Un service est développé sur des durées entre six et douze mois, bien que les durées puissent être très variables selon le service considéré. La phase d'usage d'un service peut être courte ou longue, selon le succès commercial ou les obligations législatives (par exemple, le constructeur se doit d'assurer la vente de pièces de rechange d'un véhicule durant 15 ans après le dernier modèle produit). Un service peut être très fréquemment mis à jour, notamment du fait de sa nature souvent dématérialisée qui permet de mieux suivre les évolutions du marché, à l'instar des applications sur smartphone. À contrario, les évolutions des véhicules (hors la partie logicielle) sont réalisées sur des périodes de plusieurs années.

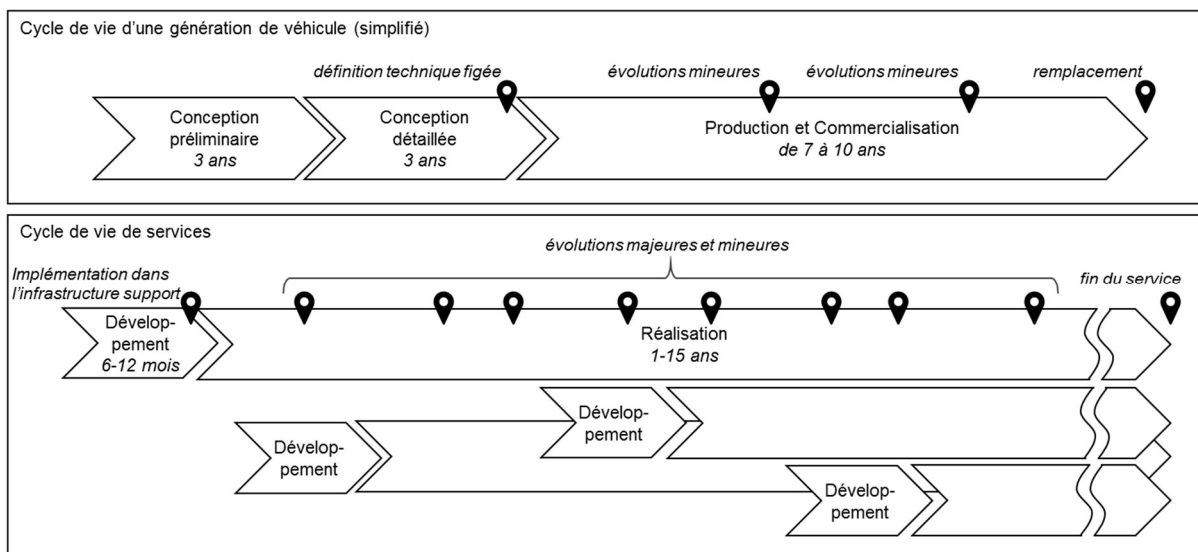


Figure 1-11 Comparaison des cycles de vie de véhicule et de services automobiles

Les constructeurs automobiles souhaitent décorrélérer les lancements de services des lancements de nouveaux véhicules, afin de fournir de nouveaux services sans être contraints par les lancements de nouveaux véhicules. Un service développé et mis en place à une année N peut exploiter un véhicule lancé en année N-3, par exemple. Ceci requiert qu'un véhicule possède les équipements et fonctions permettant la réalisation de services.

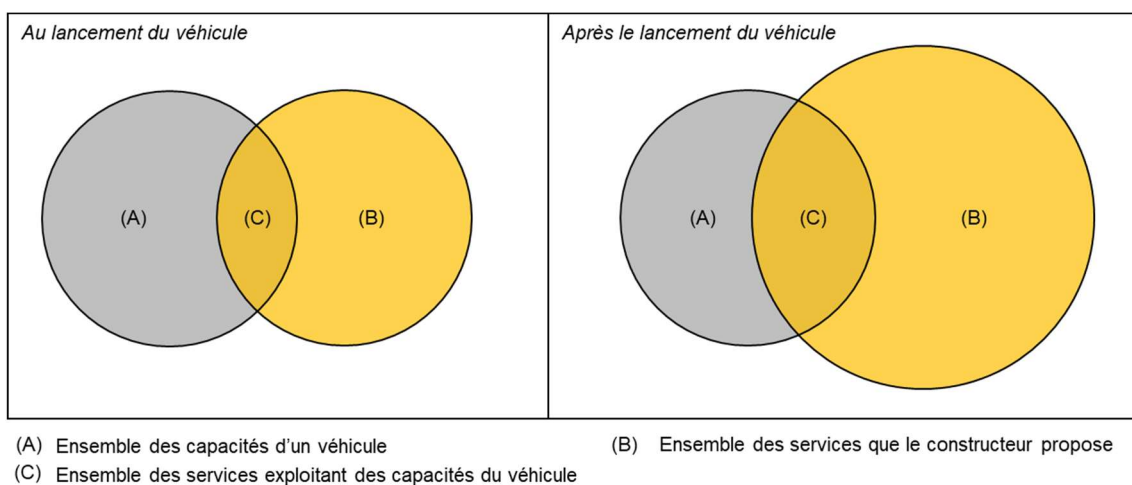


Figure 1-12 L'évolution des services réalisés exploitant un véhicule après son lancement

En Figure 1-12, le disque (A) représente l'ensemble des capacités prévues lors du développement du véhicule, disponibles à son lancement. La superficie de ce disque ne varie pas ou très peu (ajout d'option) durant la vie du véhicule. Le disque (B) représente l'ensemble des services que le constructeur propose à un moment donné. Ce moment pouvant être lors ou après le lancement du véhicule. L'intersection des deux disques (C) représente l'ensemble des services effectivement réalisés par un véhicule. La figure illustre le fait que l'ensemble des services développés par le constructeur grossit après le lancement du véhicule, ce qui implique qu'une partie des services que va supporter un véhicule ne seront pas développés au moment de son lancement. Plus généralement, cette figure illustre un paradigme choisi de l'industrie automobile : les offres de services sont un ensemble distinct des offres de véhicules.

Dans les sections précédentes, la notion de PSS a été introduite, précisée et instanciée dans le cadre de ces travaux portant sur l'industrie automobile. Les enjeux liés à la gestion des interactions entre produits et services ont également été présentés. Dans la section suivante, la question de recherche est présentée sur la base des spécificités des PSS automobiles.

1.3. Question de recherche

Le champ des contributions relatives à l'ingénierie des PSS est très vaste. Les apports de la bibliographie couvrent en effet plusieurs disciplines, en abordant par exemple la stratégie commerciale ou la science des données. Dans ces travaux, nous étudions comment développer et gérer les PSS. Pour ce faire, nous définissons la problématique de recherche et nous clarifions le cadre méthodologique utilisé pour structurer ces travaux. Étant donné que le travail de recherche se concentre sur des aspects spécifiques de l'ingénierie des PSS, la problématique est précisée à travers des critères d'analyse présentés après la problématique. Ils se veulent représentatifs des enjeux des PSS automobiles et sont issus des spécificités des PSS automobiles, présentés dans la section précédente.

1.3.1. Problématique

La notion de PSS est un concept large couvrant de vastes périmètres d'acceptation, de nombreuses industries d'application et de nombreux verrous méthodologiques leurs sont associés. De nombreux travaux de recherche et publications scientifiques illustrent cette diversité, profondément étudiée et analysée dans un article de revue de l'état de l'art (Mahut et al., 2016). Dans ces travaux, le développement de PSS automobiles a été ciblé afin de réduire ce champ. Notre travail de recherche s'intéresse au cadre méthodologique mis en œuvre lors du développement et de la gestion des PSS.

Or, les approches d'ingénierie doivent permettre de s'approprier avec pragmatisme la question du développement et de la gestion des PSS. Néanmoins, la mise en œuvre d'approches d'ingénierie est fortement liée à la nature des offres développées. Dans le cas du PSS, la nature physique et servicielle du système considéré remet en cause les démarches de conception actuelles des entreprises manufacturières, focalisées sur le développement des produits. Une réflexion sur ces approches est nécessaire pour apporter un cadre méthodologique permettant de supporter le développement et la gestion des PSS.

Les PSS automobiles sont composés de systèmes de produits complexes et de systèmes de services complexes. Dans le cadre de l'industrie automobile, il y a un très grand nombre de produits et de services combinés de manière relativement variée. Or, un enjeu de maîtrise des coûts de

développement et d'usage des PSS est de mutualiser l'usage des produits et services dans différents PSS. En d'autres termes, l'entreprise ne propose pas un type de PSS mais plusieurs combinaisons de PSS qui peuvent être composés de systèmes de produit ou service divers, placés différemment sur l'axe produit-service. La Figure 1-13 reprend le formalisme de la Figure 1-3 et de la Figure 1-4 pour illustrer cette idée.

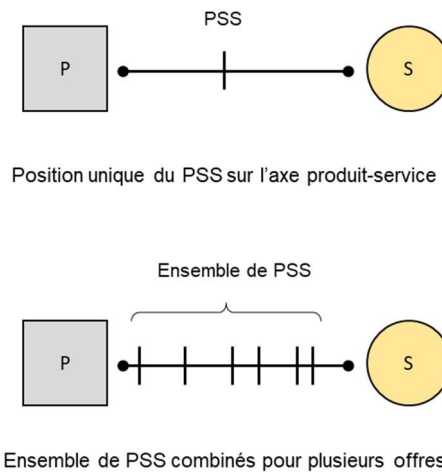


Figure 1-13 Représentation des différents ensembles de PSS proposés par une entreprise

Cette mise en commun des composants de PSS à travers plusieurs PSS différents nécessite des approches d'ingénierie supportant le développement d'un système global comme la composition de sous-systèmes. De plus, ces sous-systèmes possèdent de nombreuses variantes. Les approches supportant l'ingénierie des PSS automobiles doivent donc permettre de gérer cette diversité de sous-systèmes, matériels et logiciels. Enfin, les services sont des objets techniquement différents du produit. La réussite du développement d'un service, sur les aspects de qualité, coûts et délais, implique la mise en œuvre d'éléments méthodologiques différents tels que des processus de conception spécifiques.

En synthèse de ces différents points présentés dans le contexte, la problématique de recherche conduit les travaux autour de la question résumée ici :

Dans le cadre des transformations actuelles du secteur automobile, quelles approches et représentations permettent de supporter l'ingénierie des PSS automobiles en prenant en considération la gestion de leur diversité ?

Encadré 1-2 Problématique de recherche

La problématique sous-tend une application du cadre méthodologique aux PSS automobiles. Il est donc nécessaire de préciser en regard de la caractérisation des PSS automobiles présentée précédemment.

1.3.2. Critères d'analyse utilisés dans le travail de recherche

Les spécificités du contexte automobile nous ont amenés à identifier certaines particularités, qui conditionnent la pertinence des travaux de recherche en regard du contexte. Afin de déterminer la nature et la pertinence des contributions de l'état de l'art, nous utilisons une liste de critères qui précisent la problématique scientifique. Ainsi, les contributions de la littérature et les apports de la proposition seront analysées au regard des 7 critères présentés ci-après. Ces critères sont construits autour des caractéristiques des contributions de l'Engineering Design des PSS déterminé dans un état de l'art de (Hein et al., 2018) et adaptés à notre analyse du contexte industriel. Chacun des critères est associé à un pictogramme visuel qui sera utilisé tout au long du manuscrit.



Intégration des cycles de vie du produit et du service. L'activité de gestion et développement des PSS dépend fortement du cycle de vie de ces PSS. Les produits automobiles possèdent des cycles de vies de plusieurs années, assez linéaires. En comparaison, les cycles de vie des services sont de l'ordre du semestre et hautement itératifs. Dans le développement des PSS, il est nécessaire d'accorder ces problématiques liées aux cycles de vie des produits et services et de leurs spécificités ;



Intégration de plusieurs niveaux de définition du PSS. A l'instar du *Level of Development* dans le domaine de l'ingénierie des bâtiments et travaux publics (défini selon le standard G202-203 Building Information Modeling Protocol), il est possible de décomposer le PSS en plusieurs niveaux. Considérant qu'un PSS est un système décomposable en sous-systèmes et en composants, son développement et sa gestion impliquent de gérer ces différents niveaux de détail, ainsi que le lien entre ces niveaux de détail. Par exemple, un PSS automobile est géré au niveau des prestations qu'il offre aux clients ainsi que des acteurs qu'il exploite. Les sous-systèmes le composant sont gérés plus finement et de manière plus opérationnelle, jusqu'aux composants ;



Intégration de la diversité des produits, des services et leurs associations. Les produits et services comportent tous deux une grande diversité dans un contexte automobile. La diversité de ces systèmes impacte les coûts de développement, de production et d'opération des PSS. Les méthodologies mises en place dans l'ingénierie des PSS doivent supporter la gestion de la diversité des PSS. Une attention particulière devra donc être portée sur les mécanismes de gestion de configurations, souvent présentés dans la littérature comme une solution pour gérer la diversité ;



Intégration de la dynamique du PSS. La dimension service du PSS implique de nombreux usages possibles en fonctionnement, pendant lesquels les systèmes peuvent être partiellement paramétrés en fonction de leurs conditions de fonctionnement. C'est par exemple le cas pour les services de robot-taxi, qui s'ajustent en fonction des disponibilités des véhicules et de leurs états de fonctionnement. Ceci requiert donc de prendre en considération l'aspect dynamique de l'usage du PSS dès les phases de développement. Ces aspects sont parfois synthétisés sous le terme de « comportement du système » et incluent alors des notions d'états de fonctionnement, d'adaptation des scénarios selon ces états, etc. Cet aspect sera ici dénommé la « dynamique » du PSS ;



Intégration des infrastructures support des PSS. Les services réalisés dans le cadre d'un PSS s'appuient sur des ressources qui doivent rester disponibles. Ces ressources ou infrastructures font partie de la chaîne de valeur du PSS. Elles font donc partie du

développement des PSS, afin d'assurer qu'elles seront en mesure de satisfaire leur rôle de ressources aux PSS. Ces ressources répondent à un besoin, sont issues de spécifications techniques et possèdent leur propre cycle de vie ;



Intégration des parties prenantes dans le développement et l'opération du PSS. Un premier axe d'intégration des parties prenantes est de réunir les attentes et contraintes des différents acteurs intervenant tout au long du cycle de vie du PSS, qu'ils soient internes ou externes à l'entreprise. Le second axe d'intégration des parties prenantes s'intéresse à la mise en œuvre des différentes disciplines relatives au développement de PSS. Dans l'automobile, les activités sont très variées, entre le développement mécanique, électrique, électronique et informatique dans le véhicule, mais aussi dans le développement des infrastructures réseau et logicielles ou les infrastructures physiques, telles que les garages et infrastructure routière, nécessaires à la réalisation des services ;



Intégration de la gestion des données d'usage. Par leur nature servicielle, les PSS génèrent et utilisent des données lors de leurs usages. Dans l'automobile, le constructeur peut, par exemple, récupérer des données de fiabilité pour optimiser la conception du véhicule ou des futurs modèles du segment. Plus dynamiquement, il peut exécuter une mise à jour des logiciels embarqués visant à améliorer la fiabilité ou la sécurité du véhicule. Cela permet aussi une haute personnalisation des PSS, avec par exemple l'import de profils utilisateurs dans un véhicule ou le diagnostic à distance.

Ces critères sont définis de manière aussi objective que possible pour être utilisés dans les travaux. Ils structurent donc la méthodologie de thèse qui est présentée ci-après.

1.4. Méthodologie de thèse

Comme toute thèse CIFRE, ces travaux de doctorat trouvent leurs origines au sein du partenariat industrie – académie. La première origine, industrielle, a permis de préciser le contexte, le domaine d'application et les objectifs de ces travaux menés au sein de l'entreprise Renault, à la direction de l'ingénierie après-vente. La seconde origine est issue du travail de recherche effectué dans la communauté scientifique relative aux activités de l'équipe « systèmes intégrés : produit - process » (SIPP) du laboratoire Roberval de l'Université de Technologie de Compiègne. Le projet de thèse est donc né de la rencontre des questions de recherches autour de l'ingénierie des PSS du côté académique et d'une prise de conscience de nouveaux besoins pour l'ingénierie des nouveaux services automobiles pour l'entreprise Renault.

1.4.1. Synthèse des objectifs industriels

Comme présenté dans le contexte industriel, les constructeurs automobiles développent de nouvelles offres de services, souvent fortement liées aux véhicules. À l'ingénierie de l'après-vente Renault, de nombreux services historiques sont développés, avec par exemple les services d'entretien et de réparation (E&R) des véhicules. Cette activité consiste majoritairement à valider les choix de conception des véhicules en respect des contraintes de réparabilité, à déterminer les méthodes à suivre pour effectuer une opération d'entretien ou de réparation, mais aussi de gérer l'ensemble des procédures et pièces de rechange utilisées en E&R. Il s'agit ainsi de proposer un choix de pièces de rechange pour

les opérations d'E&R et en reconcevoir certaines, visant par exemple à la standardisation des pièces pour des raisons de coûts d'achat et de logistique. Les moyens mis en œuvre par ces activités d'E&R sont développés dans cette organisation, comme par exemple les valises de diagnostic. Une activité de conception d'accessoires, tels que les barres d'attelage, prend aussi place au sein de cette direction.

L'entreprise lancera une nouvelle génération d'offres de services connectés dans un futur proche. Or, les processus d'ingénierie et outils support à la conception de ces services étaient jusqu'alors émergents et parcellaires. Ces processus et outils sont mis en place dans une démarche projet, avec comme finalité première de fournir les livrables de conception au terme du projet de développement des services, donc à un horizon court-terme. Il y a donc un fort besoin de l'entreprise d'acquérir une vision globale et de mettre en œuvre une démarche holistique, au-delà des processus et outils développés dans une logique de productivité immédiate. Les objectifs industriels de la thèse alimentent donc la préfiguration d'un ensemble d'activités d'ingénierie et d'outils logiciels pour supporter l'ingénierie de ces nouveaux services, comme présenté en Figure 1-14.

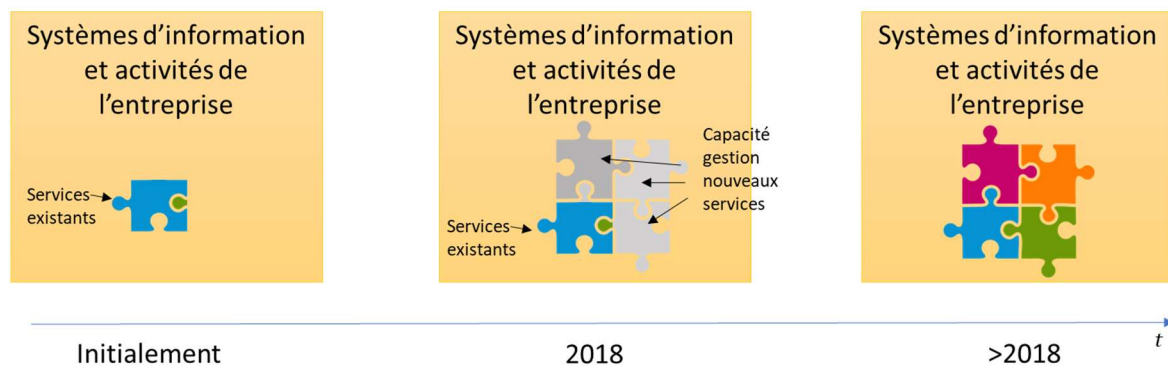


Figure 1-14 Besoin industriel de préfiguration des systèmes d'information et activités de l'entreprise pour l'ingénierie des services

Dans une démarche de conservation de l'existant, ces travaux de thèse doivent venir enrichir l'ensemble des approches déjà existantes de l'entreprise. En effet, ces approches sont utilisées à grande échelle au sein de l'entreprise, concentrent une grande complexité d'usages de l'entreprise et sont construites sur des échelles de temps longues, il n'est pas envisagé de les déconstruire.

Une démarche d'analyse fonctionnelle externe a été mise en place pour recenser les besoins de l'entreprise en termes d'ingénierie des produits et des services, en suivant le formalisme issu de la norme AFNOR X50-151⁴. Elle permet de recenser, qualifier et prioriser les différents besoins de l'entreprise. Sa synthèse est formulée à travers les critères d'analyse présentés précédemment, permettant ainsi de retranscrire les objectifs industriels au sein des travaux de recherche.

1.4.2. Synthèse des objectifs scientifiques

Ces travaux de thèse visent à proposer une méthode pour l'ingénierie et la gestion des PSS, basée sur les modèles de gestion de la diversité et les approches centrées sur le cycle de vie des systèmes. Ils

⁴ Norme NF X50-151 Septembre 2007 - Management par la valeur - Expression Fonctionnelle du Besoin et cahier des charges fonctionnel - Exigences pour l'expression et la validation du besoin à satisfaire dans le processus d'acquisition ou d'obtention d'un produit. Disponible sur <https://www.boutique.afnor.org>

se positionnent principalement sur la discipline d'*Engineering Design*, c'est-à-dire sur les l'ensemble des moyens méthodiques mis en œuvre dans la conception de systèmes. L'objet d'étude de ces travaux de recherche est défini par la notion de cadre méthodologique telle que nous l'avons défini précédemment, qui intègre les approches, les processus, méthodes et outils d'ingénierie, ainsi que les modélisations de PSS dans un ensemble cohérent. À travers cet objet d'étude et en réponse aux éléments du contexte, nous proposons de résoudre les verrous scientifiques suivants :

Verrou 1 : Quel cadre méthodologique mettre en place pour évoluer d'une démarche de développement orientée produit à une démarche de développement orientée PSS ?

Verrou 2 : Comment gérer la diversité des produits et des services dans cette démarche ?

Le second verrou s'inscrit dans le premier verrou et porte un point d'attention particulier à la gestion de la diversité. Ces deux verrous traduisent au niveau du domaine scientifique deux enjeux principaux ciblés par l'observation du contexte industriel. Une étude préliminaire de la littérature scientifique montre la pertinence de ces verrous au niveau dans les domaines de recherche et la nécessité de contribuer à leur résolution pour participer à l'accroissement des connaissances scientifiques.

1.4.3. Démarche de recherche suivie

La démarche de recherche suivie est présentée en Figure 1-15. Parmi les éléments qui la composent, les objectifs industriels et scientifiques forment les éléments de contexte principaux qui permettent de poser la problématique de recherche. Cette problématique est alimentée par deux verrous scientifiques. Le premier verrou s'intéresse aux éléments du cadre méthodologique permettant de modéliser et développer des PSS. Le second verrou concerne plus particulièrement les pratiques de gestion de la diversité des PSS. Les objectifs industriels précisent les particularités des PSS considérés et du cas de la *servicization* des constructeurs automobiles. Ces particularités sont formalisées à travers les critères d'analyse qui précisent les enjeux liés à la problématique.

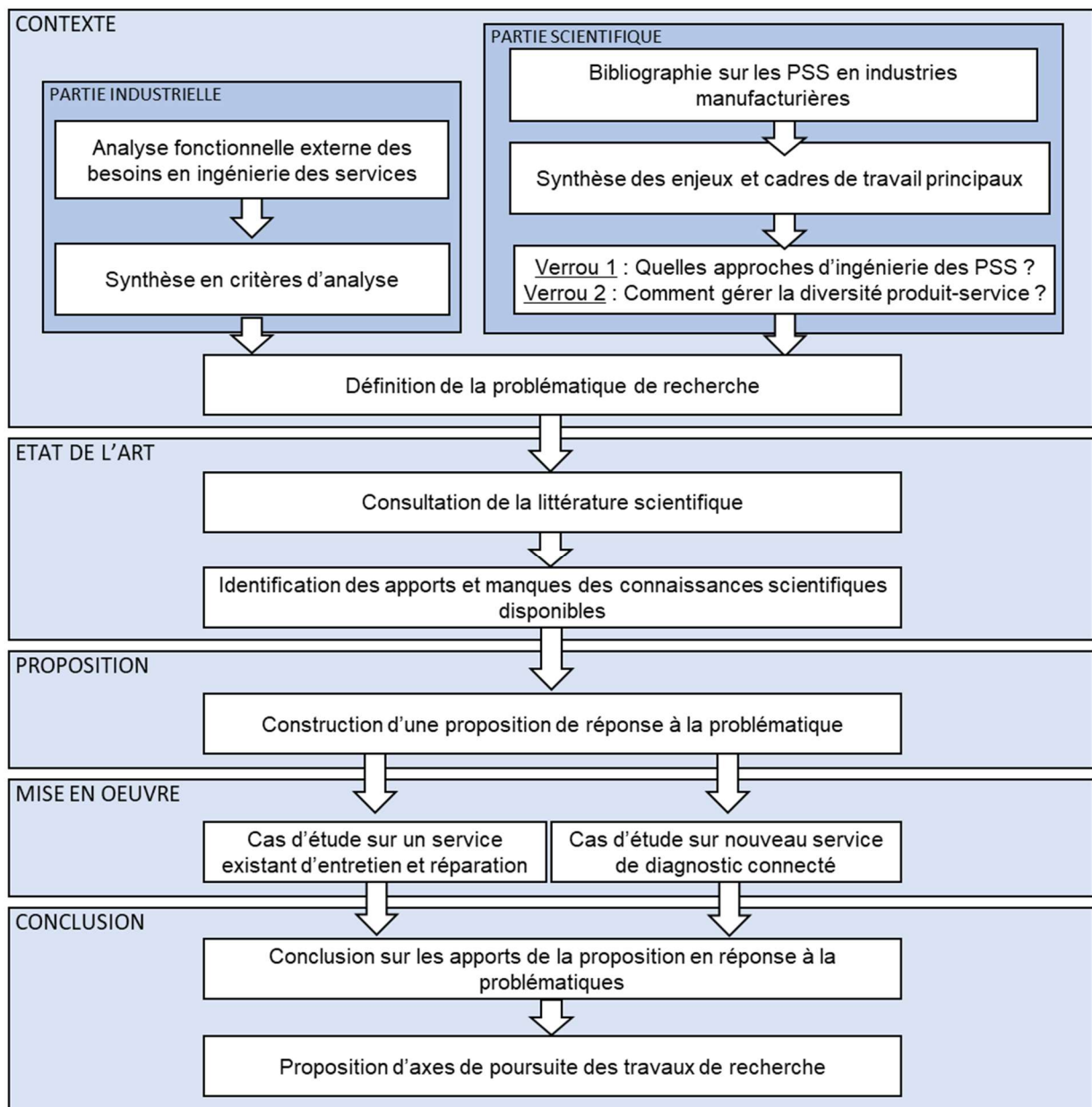


Figure 1-15 Méthodologie suivie dans le travail de recherche

L'étude de la bibliographie s'intéresse aux sujets ciblés en contexte (approches d'ingénierie, gestion de la diversité, PSS etc.) et sur l'ingénierie des PSS. À l'issue de cette étude de l'état de l'art, les apports de la littérature et les manques en connaissances scientifiques pour répondre à la problématique sont identifiés et contribuent à construire la proposition de réponse à la problématique.

Cette proposition est mise en œuvre sur deux cas d'étude industriels afin de qualifier et d'illustrer la proposition en réponse à la problématique. Enfin, une synthèse des apports de la proposition est donnée en conclusion de ces travaux. Cela nous permet de prescrire de futurs travaux à engager dans l'objectif de répondre plus complètement à la problématique et de lever les verrous scientifiques.

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'ensemble des éléments du contexte que nous utilisons dans ces travaux. Pour opérer une *servicization*, les constructeurs automobiles doivent faire évoluer leur

démarche d'ingénierie pour supporter le développement des PSS. Ces PSS impliquent de nombreuses nouveautés qui font évoluer les activités vers une logique qui n'est plus uniquement centrée sur le produit. En particulier, différents cycles de vie des produits et des services, la forte intégration des phases d'usage et l'intégration des acteurs et des infrastructures sont des caractéristiques nouvelles qui amènent à revoir le cadre méthodologique qui permet de supporter les activités de développement. Nous définissons ce cadre méthodologique à travers les approches, les processus, les méthodes, les outils d'ingénierie et les modélisations de PSS. Dans la suite de ce manuscrit, nous présentons comment ces éléments sont mis en œuvre pour supporter le développement des PSS automobiles avec une attention particulière pour la gestion de la diversité des PSS.



Chapitre 2 État de l'art

Dans ce chapitre d'état de l'art, les différents axes de recherche ciblés dans l'étude du contexte présenté ci-avant sont approfondis. L'analyse qui est réalisée ici a pour objectif de comparer les différentes approches et leur aptitude à répondre à la problématique suivant les critères introduits dans le chapitre précédent. Dans un premier temps, une revue des approches d'ingénierie utilisées dans l'industrie est présentée et nous permet de cibler le PLM, le SLM et l'Ingénierie Système. Dans un second temps, l'état de l'art s'intéresse aux processus, méthodes et outils de développement des PSS dans lesquels les concepts d'architecture, d'ingénierie des exigences et de gestion de la diversité sont abordés. Enfin, la modélisation des PSS est étudiée. Il en résulte un schéma d'interaction entre le PLM et le SLM supporté par des pratiques d'Ingénierie Système, l'intégration de spécificités des PSS autour de 3 vues d'architecture et d'un triplet d'attributs du service à intégrer dans les modèles de PSS.

2.1. Structuration de l'état de l'art scientifique

La conception de systèmes de produits ou services est supportée par des cadres méthodologiques qui définissent les démarches d'ingénierie développées pour supporter la complexité grandissante des systèmes développés et des organisations qui interviennent dans leur développement. Nous structurons l'état de l'art scientifique autour de ces cadres méthodologiques, dont une définition de la constitution est donnée ci-après.

2.1.1. Éléments méthodologiques considérés dans l'état de l'art

(Guerineau et al., 2018) proposent 4 niveaux pour structurer les différents éléments qui interviennent dans les cadres méthodologiques en *Engineering Design*. Ces niveaux sont l'approche, les processus, les méthodes et les outils. Dans la suite, les concepts de processus, méthodes et outils composant les approches d'ingénierie sont repris du travail de Guerineau et al. (2018) et adaptées aux particularités de ces travaux de recherche. Cette classification permet de situer les différentes pratiques connues selon la nature de leur apport, leur niveau d'abstraction ou d'opérationnalisation. Le cas du *Lean Management* est utilisé ici pour illustrer ces concepts.

Approche d'ingénierie. L'approche est définie comme une philosophie globale, située au niveau stratégique des activités de développement, caractérisée par un ensemble de principes qui permettent le développement de systèmes. Elle préfigure un ensemble de positionnements arbitraires fondateurs dans la manière de considérer l'objet à développer ainsi que l'organisation supportant ce développement. Par exemple, le *Lean Management* est une approche dérivée du *Lean Production System* et utilisée par de nombreuses industries manufacturières. Elle vise l'amélioration continue des activités ayant pour objectif des hauts niveaux de performance opérationnelle (Krafcik, 1988).

Une approche peut se transposer en processus, méthodes et outils lorsqu'elle est appliquée. Ces concepts et relations sont présentés en Figure 2-1.

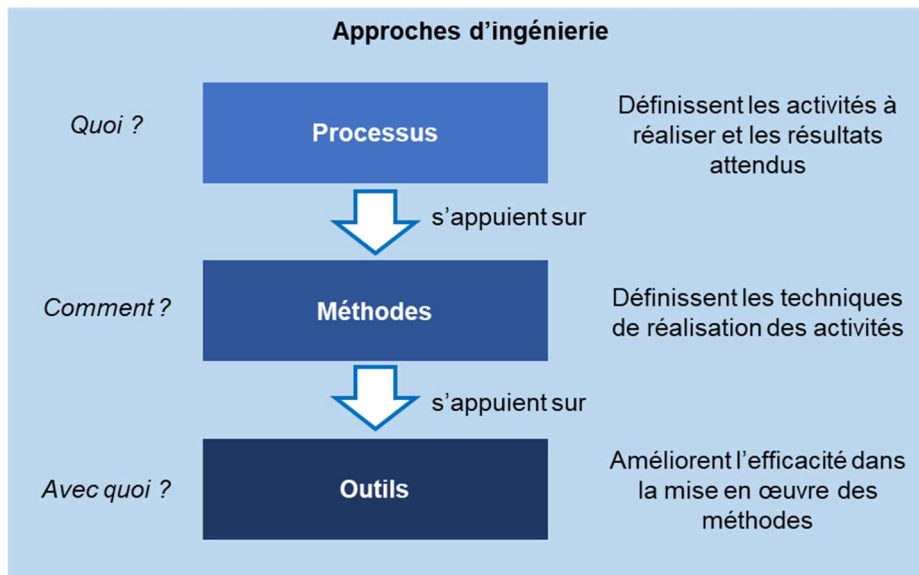


Figure 2-1 Représentation d'une approche par les Processus, Méthodes et Outils

Processus d'ingénierie. Les processus formalisent les procédés dirigeant l'activité d'ingénierie. L'objet d'étude des processus d'ingénierie est l'entité réalisant l'activité d'ingénierie. Ils définissent la succession d'activités d'ingénierie, leurs rôles, matière d'œuvre entrante et sortante, le type d'activité, mais aussi les ressources mobilisées pour les réaliser. Ils se placent sur un axe temporel ou sur un axe définissant la maturité du système développé. Dans le cas du *Lean Management*, des processus d'amélioration continue sont formalisés et appliqués aux activités de l'entreprise. Ils se superposent aux processus opérationnels pour apporter une critique et des améliorations.

Méthodes d'ingénierie. Les méthodes formalisent les règles et pratiques de réalisation des activités d'ingénierie. L'objet d'étude des méthodes d'ingénierie est le système développé. Elles ne se concentrent pas sur l'organisation des activités d'ingénierie, mais sur la logique soutenant ces activités d'ingénierie. Elles s'inscrivent généralement dans un processus d'ingénierie. Dans le cas *Lean Management*, des méthodes telles que le *Plan, Do, Check, Act* ou la méthode des 5S définissent la réalisation des tâches du processus, respectivement en animant les études d'amélioration continue ou en utilisant une démarche de définition des causes source.

Outils d'ingénierie. Les outils permettent de supporter la réalisation des activités d'ingénierie. Majoritairement de nature informatique dans notre contexte, ils servent à sauvegarder, mettre à disposition et manipuler les représentations des systèmes développés sous la forme de modèles ou à assister les équipes de développement dans l'évolution des représentations des systèmes développés. Ils sauvegardent les représentations des systèmes et sont donc liés à leur modélisation. Ils sont généralement très liés aux méthodes et processus d'ingénierie. Dans le cas du *Lean Management*, des outils de mesure, de suivi et de pilotage permettent d'assister la réalisation des méthodes d'amélioration continue.

En addition des définitions de (Guérineau et al., 2018), nous nous intéressons à la manière dont sont structurées les informations manipulées au sein de ces trois concepts.

Modèles de PSS. Les modèles sont le formalisme explicite utilisé dans les outils d'ingénierie pour stocker et manipuler l'information relative au système développé. Ils sont donnés dans un langage particulier permettant de mettre en avant les caractéristiques du système qui sont importantes dans son développement et sa gestion. Les modèles sont fortement liés aux approches, processus, méthodes et outils. Ils servent à la réalisation des processus et des méthodes et s'inscrivent dans les principes d'une

approche. Dans le cas du *Lean Management*, des indicateurs de performance ou encore des modélisations de la chaîne de valeur supportent la réalisation des méthodes utilisées. Ils structurent un ensemble d'informations représentant l'objet d'étude (ici une activité) de manière à pouvoir appliquer les méthodes d'amélioration continue.

Au regard de ces définitions, le cadre structurant les travaux positionne les éléments de modélisation des PSS transversalement aux approches d'ingénierie et à leurs constituants, dans la mesure où ils impactent chacun de ces niveaux. La Figure 2-2 synthétise les différents constituants des approches et le côté transversal des modèles de PSS.

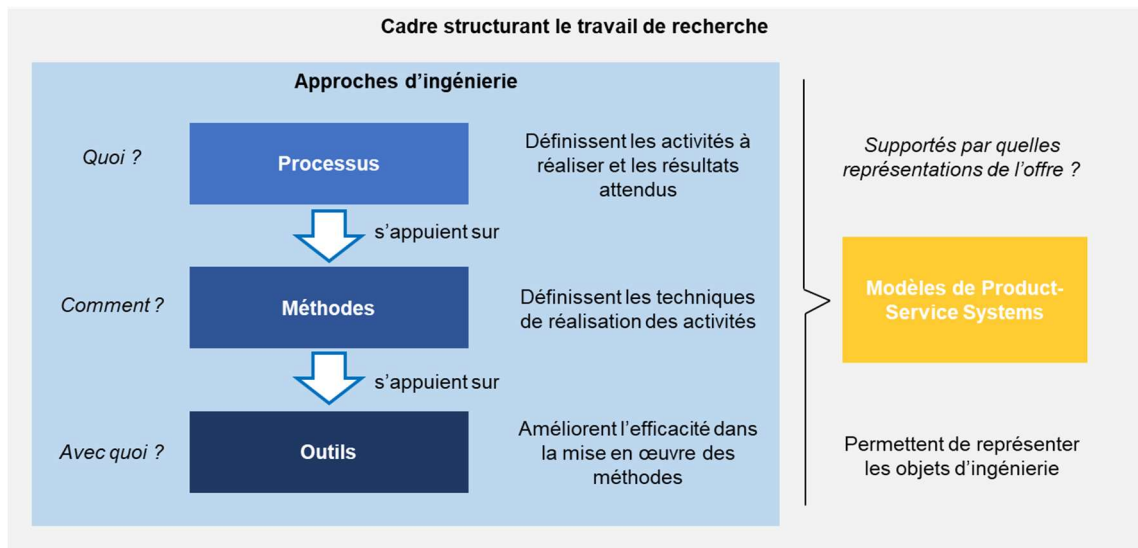


Figure 2-2 Le cadre de travail intègre les approches de développement et les modélisations des PSS

Dans ce qui précède, nous avons ainsi déterminé que la démarche de conception des PSS peut se décomposer en approches, processus, méthodes, outils et modèles. Dans la suite, nous le formalisons sous un cadre méthodologique en trois niveaux que nous utilisons à travers les travaux de recherche.

2.1.2. Structuration de l'état de l'art en trois niveaux

L'état de l'art est structuré selon les éléments mentionnés ci-avant, regroupés en trois niveaux, repris sous la forme de couches sur la Figure 2-3. Cette représentation a vocation à appréhender l'état de l'art, la proposition et la mise en œuvre à travers une structuration cohérente au long de ce manuscrit. Les approches d'ingénierie sont conservées dans le nouveau cadre en un niveau dédié, les processus, méthodes et outils sont regroupés en un autre niveau et les modélisations de PSS forment le troisième niveau du nouveau cadre.

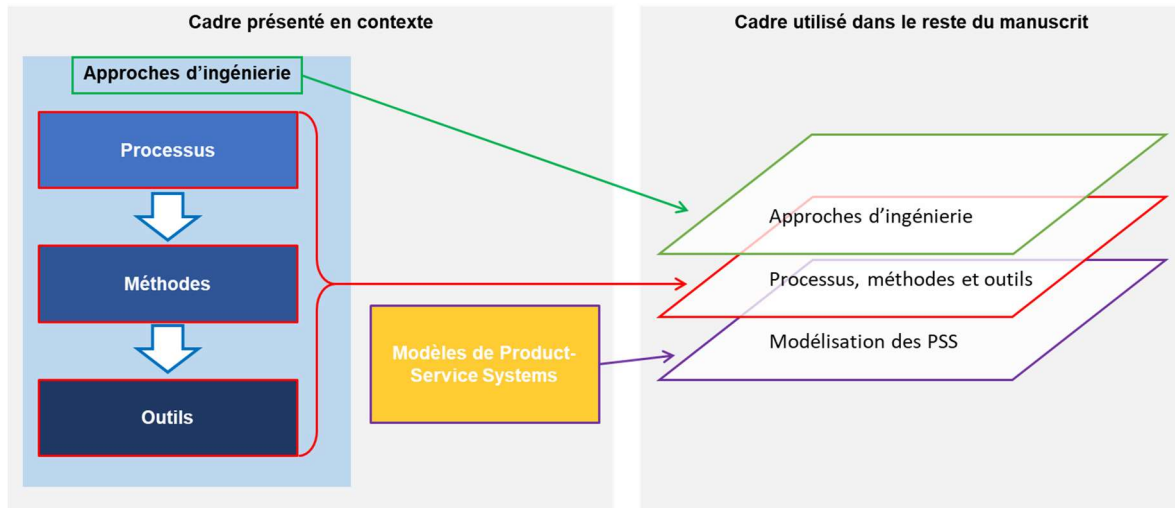


Figure 2-3 Structuration des apports de la thèse en trois niveaux adaptés du cadre présenté en contexte

Nous définissons ainsi les contours du cadre méthodologique qui structure ces travaux de recherche. Afin de qualifier les différentes contributions de la littérature qui s'intègre dans ce cadre méthodologique, nous utilisons les critères d'analyse définis précédemment.

2.1.3. Démarche d'analyse de l'état de l'art par critères

Les différentes contributions ont été analysées à travers les critères d'analyse présentés dans le chapitre précédent. Ces critères et leurs pictogrammes associés, repris tout au long du manuscrit, sont présentés en Figure 2-4.

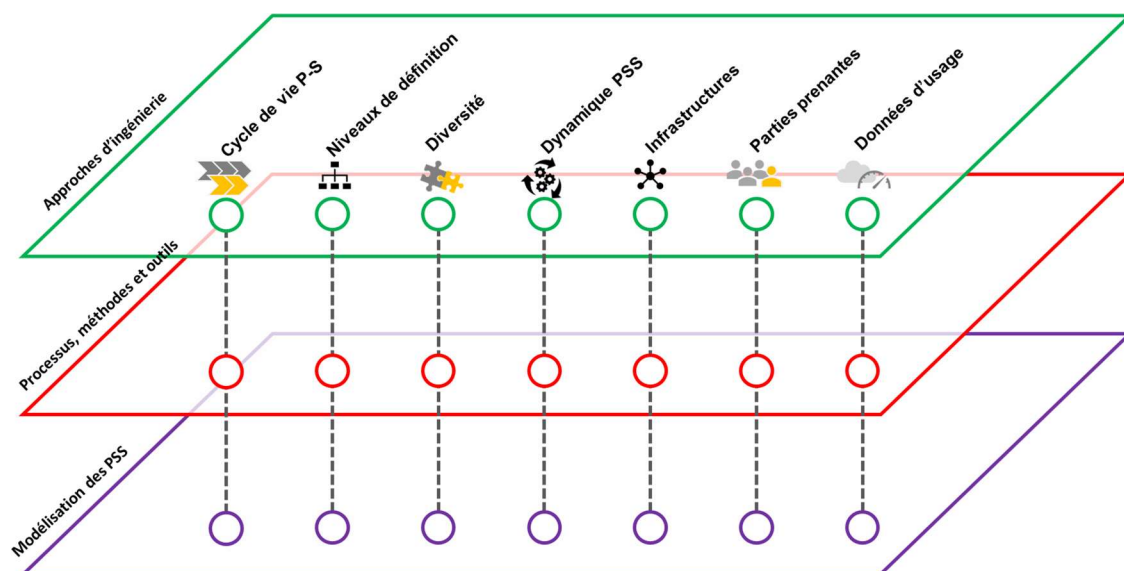


Figure 2-4 Utilisation des critères d'analyse pour les trois thématiques

Ces sept critères d'analyse s'appliquent aux trois niveaux :



Le critère lié au cycle de vie des PSS permet d'évaluer comment en quoi la stratégie de l'entreprise de conserver la différenciation et produits et services se traduit dans les processus de développement, les méthodes, outils et les modélisations du PSS ;



Le critère de niveau de définition des PSS permet d'évaluer si le cadre méthodologique permet de décomposer le PSS en sous-parties et de gérer ces sous-parties individuellement. Cela se traduit dans les principes de l'approche et plus fortement dans les processus, méthodes, outils et modélisations de PSS, dans la mesure où la décomposition est réalisée lors du développement de PSS ;



Le critère de diversité des systèmes permet d'évaluer comment la diversité des produits et des services est considérée. Elle impacte les approches d'ingénierie et les processus de développement et se trouve appliquée via des modélisations de système, des méthodes spécifiques ainsi que des outils support ;



Le critère de dynamique des PSS évalue dans quelle mesure les aspects comportementaux du PSS sont intégrés dans la démarche et comment le cadre méthodologique permet de les maîtriser ;



Le critère concernant les infrastructures évalue si le cadre permet de considérer les infrastructures comme des objets majeurs du PSS. À travers ce critère, nous qualifions si les contributions permettent de les développer et les gérer à travers leur propre cycle de vie. Leur intégration doit être permise par les processus d'ingénierie. Les méthodes et outils doivent permettre de considérer leurs spécificités décrites en contexte. Enfin, la considération des infrastructures implique une définition spécifique dans les modélisations de PSS ;



Le critère concernant les parties prenantes évalue dans quelle mesure le cadre méthodologique implique des acteurs du PSS d'une part et permet l'intégration pluridisciplinaire d'autre part. Cela se retranscrit dans les approches d'ingénierie : un concessionnaire automobile ou un fournisseur sous-traitant sont par exemple deux parties prenantes qui différencient sensiblement la stratégie globale abordée dans le développement. Les parties prenantes sont intégrées au développement et sont donc concernées par le niveau des processus, méthodes et outils. Enfin, l'utilisation de ce critère permet d'assurer que les modélisations pourront être échangées entre les différentes parties prenantes ;



Le critère relatif aux données d'usage évalue dans quelle mesure le cadre méthodologique permet de maîtriser les échanges, le traitement et la valorisation des données d'usage. Les approches d'ingénierie sont concernées par des métiers de conception différents (développement logiciel, architecture informatique par exemple). Le niveau des processus, méthodes et outils est lui aussi concerné par les données d'usage dans la mesure où différentes disciplines sont impliquées dans la conception. Enfin, la modélisation doit intégrer les données d'usage qui constituent des informations relatives au PSS dans un objectif de développement, notamment déterminant les parties du PSS concernées par les données d'usage et les modalités d'utilisation de ces données d'usage.

Dans cette partie, nous avons déterminé comment qualifier le cadre méthodologique à travers ses différents et à l'aide des critères d'analyse qui détaillent la problématique. Avec cette description du cadre méthodologique en trois niveaux et l'applications des critères d'analyse, nous pouvons identifier

et qualifier les différentes publications de la littérature scientifique et évaluer s'ils contribuent à la résolution de la problématique de recherche.

2.1.4. Sélection des axes scientifiques à étudier

Dans ce paragraphe, nous présentons la démarche utilisée pour sélectionner les publications scientifiques qui contribuent à répondre à notre problématique.

Les contributions analysées dans l'état de l'art sont choisies selon un processus de sélection. Les publications ont été recherchées dans les articles de conférence et de journaux grâce aux mots clés suivants dans le champ de titre :

'Product-Service System', 'PSS', 'Servicization', 'Servitization', 'Servicification', 'Productization', 'Product-Service Offer', 'Integrated Product-Service Offering', 'IPSS', 'Functional Economy', 'Dematerialization', 'Service Engineering', 'Product Lifecycle Management', 'PLM', 'Service Lifecycle Management', 'SLM', 'Service Configuration', 'Service Variety', 'Variety Management', 'Mass Customization', 'Service Internet of Things', 'Service Management', 'Systems Engineering', 'System Configuration'.

Encadré 2-1 Liste des mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Ces mots clés nous ont permis d'identifier plusieurs centaines de contributions. Une première sélection a permis de retenir les contributions en rapport avec la problématique de thèse.

Comme expliqué précédemment, les contributions s'inscrivent dans les domaines d'*Engineering Design* qui nous permettent d'étudier les méthodologies de développement de PSS et plus légèrement dans les domaines d'*Information Systems* pour les solutions logicielles correspondant aux approches d'ingénierie et de *Business Management* concernant l'impact de la *servicization* sur l'organisation de l'ingénierie de l'entreprise. Cette recherche a été majoritairement réalisée la première année et régulièrement mise à jour durant la thèse.

2.2. Les approches d'ingénierie

Nous avons précédemment défini le cadre méthodologique structurant notre étude de l'état de l'art. Dans la suite, nous commençons par analyser l'état de l'art au niveau des approches d'ingénierie, soit le premier niveau du cadre méthodologique.

2.2.1. Les approches principales mises en œuvre en entreprise

Dans les domaines abordés, une entreprise met en œuvre des approches d'ingénierie pour supporter ses activités. Le concept d'approche d'ingénierie a été défini comme une philosophie globale et stratégique, qui comporte des principes fondateurs quant à l'organisation et le point de vue abordés dans le développement d'un système. De nombreuses approches sont mises en œuvre dans l'industrie. Chaque approche répond à un ensemble particulier de problématiques et correspond à un contexte d'entreprise. Il en existe de nombreuses et elles peuvent être utilisées de manière combinée. Nous

présentons les approches principales dans le Tableau 2-1. Après avoir défini comment nous considérons les approches d'ingénierie, dans la suite de cette partie nous étudions ces approches et concluons quant à celles qui sont pertinentes pour ces travaux.

Approche d'ingénierie	Description	Référence
Approche agile	Approche de développement focalisée sur les besoins utilisateurs pour structurer continuellement le développement des produits. Elle se base sur 12 principes, qui prônent la décomposition du travail en livrables réduits et une forte interaction des personnes employées au développement du produit. Elle est fortement utilisée en développement logiciel.	(Fowler et al., 2001)
<i>Application Lifecycle Management (ALM)</i>	Stratégie de coordination des activités et de la gestion des artefacts durant le cycle de vie des produits logiciels. L'ALM est basée sur l'approche de <i>Product Lifecycle Management</i> mais appliquée au domaine logiciel.	(Kääriäinen et al., 2009)
<i>Enterprise Resource Planning</i>	Approche mise en œuvre en contexte manufacturier pour maîtriser les flux physiques relatifs à la fabrication et l'approvisionnement du produit. Elle est principalement centrée sur les processus de production plutôt que sur la définition du produit à fabriquer.	(Jacobs et al., 2007)
Ingénierie Système	Approche interdisciplinaire mise en œuvre pour la conception, la réalisation et l'opération et la retraite d'un système. L'ingénierie système s'intéresse notamment aux systèmes complexes et aux interactions entre les parts de ces systèmes.	(INCOSE, 2015)
<i>Lean Management</i>	Tirée de l'approche de <i>Lean Production System</i> , le <i>Lean Management</i> est une approche centrée sur l'organisation des activités, mettant en œuvre des principes d'amélioration continue ou <i>Kaizen</i> .	(Krafcik, 1988)
<i>Product Lifecycle Management (PLM)</i>	Approche pour le développement et la gestion d'un produit sur tout son cycle de vie, à partir de la construction et l'expression du besoin, jusqu'à la fin de vie et l'éventuel recyclage des produits manufacturés d'une entreprise. Elle met en œuvre des systèmes informatiques pour la gestion des données virtuelles du produit.	(Le Duigou, 2010)
<i>Service Lifecycle Management (SLM)</i>	Approche similaire au PLM, spécifique au développement et la gestion d'un service sur tout son cycle de vie.	(Brown, 2003; Bullinger et al., 2003)
<i>Système de Management de la Qualité</i>	Approche globale de gestion de la qualité des produits, des services ou de l'organisation d'une entreprise. Elle considère l'ensemble des facteurs impactant la qualité et se traduit par la mesure de la qualité, les processus d'assurance qualité, les audits de contrôle et les processus d'amélioration de la qualité.	Série des normes ISO 9000

Tableau 2-1 Liste de différentes approches mises en œuvre dans l'industrie

Parmi ces approches, certaines sont suffisamment écartées du contexte industriel ou de la problématique pour être disqualifiées. L'approche agile est utilisée pour le développement logiciel mais aussi du *manufacturing* (Bricogne, 2015). Son intérêt principal est l'adaptabilité des tâches aux fur et à mesure du progrès dans le développement du système, ainsi qu'une facilitation de la collaboration. Néanmoins, elle ne correspond pas aux objectifs de ces travaux de recherche retranscrits sous la forme des critères présentés ci-avant. L'ALM, inspirée du PLM, propose de centrer les activités de développement et de gestion sur le cycle de vie mais elle est spécifique aux produits de nature logicielle et n'est donc pas adéquate pour l'ingénierie des PSS. Le *Lean Management* et le *Système de Management de la Qualité* sont des approches plus centrées sur les processus organisationnels que sur les systèmes à développer, elles n'apparaissent donc pas pertinentes pour répondre à la problématique.

L'exclusion de ces approches nous amène à nous focaliser sur le PLM, le SLM et l'ingénierie système qui visent plus à supporter le développement et la gestion des systèmes de produits ou de service, dans une logique centrée sur leurs cycles de vie et intégrant les critères d'analyse présentés. En effet, parmi ces approches, le PLM est prédominant entre la considération du besoin et la livraison de spécifications techniques permettant de commencer les phases de fabrication des produits. À ce titre, le PLM, en tant qu'approche orientée sur le cycle de vie des produits se présente comme une approche courante pertinente pour supporter le développement de PSS. Cependant, les aspects issus du « service » ne sont pas nativement supportés par une approche orientée produit et le SLM semble apporter des éléments de réponse à ce manque. Enfin, tandis que le PLM et le SLM structurent les méthodes et outils pour le développement de produits et services, l'ingénierie système semble compléter ces deux approches en apportant des principes et pratiques de développement des systèmes complexes, tout en gardant le cycle de vie du système en perspective.

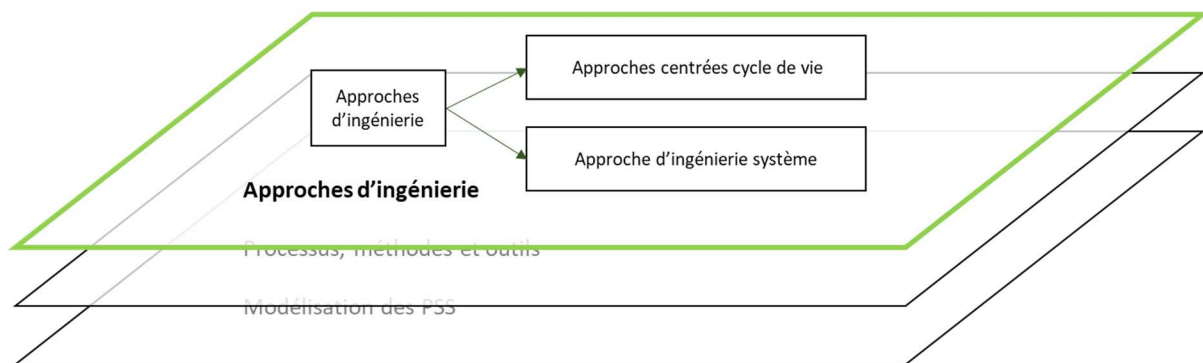


Figure 2-5 Structuration de l'état de l'art sur la thématique des approches d'ingénierie

Nous avons ainsi déterminé qu'il est intéressant d'approfondir les approches PLM, SLM et l'Ingénierie Système pour évaluer leur capacité à supporter le développement des PSS. Dans la suite de l'état de l'art, les approches orientées sur le cycle de vie PLM et SLM sont approfondies pour déterminer comment elles peuvent supporter le développement de PSS, ainsi que l'ingénierie système pour aborder les aspects systèmes du PSS (voir Figure 2-5).

2.2.2. Le Product Lifecycle Management

La première approche orientée cycle de vie que nous détaillons est le PLM. Cette approche est relativement déployée dans de nombreuses entreprises manufacturières, en particulier dans l'industrie aéronautique et automobile. Nous définissons par la suite les éléments du PLM qui sont pertinents au regard de la problématique.

2.2.2.1. Positionnement du PLM dans le cycle de vie du produit

Le PLM entend couvrir le développement et la gestion d'un produit sur tout son cycle de vie, à partir de la construction et l'expression du besoin, jusqu'à la fin de vie et l'éventuel recyclage des produits manufacturés d'une entreprise (Le Duigou, 2010; Terzi et al., 2010). Il permet de structurer l'ensemble des données d'ingénierie et possède un rôle fonctionnel important pour plusieurs processus opérationnels de l'entreprise (Eynard, 2005). Il repose particulièrement sur des systèmes de Product Data Management (PDM) qui réalisent le stockage des documents de conception, associés à la structure du produit et aux workflows de conception (Merlo et al., 2005).

L'Entreprise Resource Planning (ERP), qui tire son héritage du *Material Requirement Planning* (MRP) est centrée sur la gestion de la manufacture de produits, notamment des flux physiques et des processus relatifs à la fabrication. Sa désignation française largement acceptée est réduite à sa concrétisation logicielle : Progiciel de Gestion Intégrée (PGI). L'ERP englobe parfois les approches de type *Supply Chain Management* (SCM) et *Customer Relationship Management* (CRM). Les approches SCM ont vocation à considérer la gestion logistique des flux dans la fabrication d'un produit. Enfin, les approches CRM supportent la gestion de la relation client en gérant les activités et les données relatives aux clients et aux prospects de l'entreprise. En Figure 2-6, différentes approches sont présentées sur le cycle de vie d'un produit. Elle illustre l'intrication entre les différentes approches. Sur cette représentation de principe, alors que le PLM (outils de type PDM, CAx⁵, TDM⁶ entres autres) est concentré sur les phases de conception et est orienté produit, l'ERP englobe le cycle de vie depuis la fin de la conception à la fin de vue du système et est orienté process.

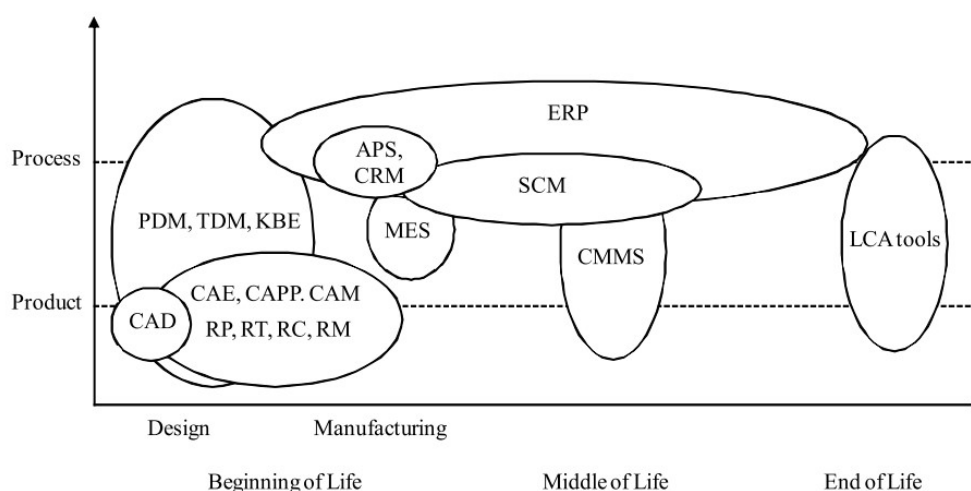


Figure 2-6 Paysage des différentes approches vues par les systèmes d'information support, d'après (Terzi et al., 2010)

Les limites entre ces approches sont poreuses et dépendent fortement de la culture de l'entreprise considérée. Mais il y a globalement une distinction entre les approches supportant le développement des systèmes (*Beginning-of-Life*, BoL) et celles supportant leur fabrication et usage (*Middle-of-Life* et *End-of-Life*, MoL et EoL). Une schématisation proposée par (Terzi et al., 2010) définit le PLM en amont des activités produit de l'entreprise et centré sur le développement, alors que l'ERP se situe en aval du PLM pour la production et la livraison du produit (voir Figure 2-7).

⁵ Regroupe les appellations originellement issues de l'usage de la maquette numérique 3D du type « *Computer Aided X* » où X peut être : *Design, Engineering, Simulation, Manufacturing, Process Planing*, etc.

⁶ *Technical Data Management*, qui regroupe et structures des documents de conception

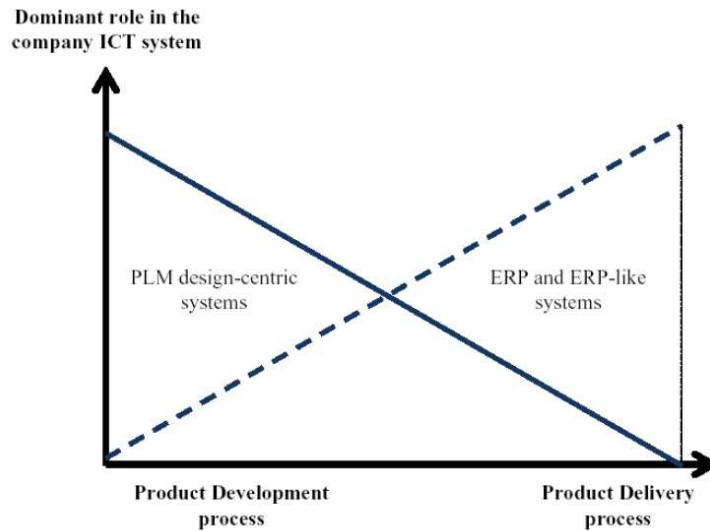


Figure 2-7 Aires d'importance du PLM vs. de l'ERP d'après Terzi et al. (2010)

L'approche PLM se déclinant, dans la pratique, majoritairement sur le développement du produit, elle trouve son barycentre en amont de l'ERP selon le cycle de vie produit et fournit aux ERP les données nécessaires à la conduite des activités de fabrication et de logistique, voire d'opération du système.

2.2.2.2. Définition du PLM en 5 dimensions

D'après des travaux de (Budde et al., 2010) plusieurs contributions scientifiques présentent différentes dimensions définissant le PLM. (Silventoinen et al., 2011) reprennent ces travaux et les enrichissent dans une vision holistique à travers une représentation du PLM en 5 dimensions, synthétisés sur la Figure 2-8.

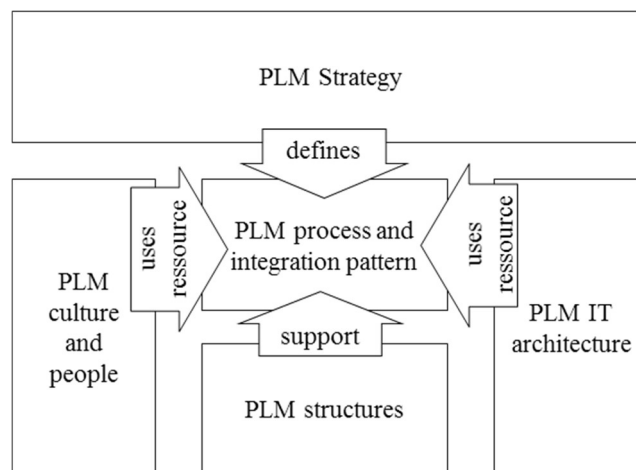


Figure 2-8 Vue simplifiée des 5 dimensions du PLM intégré d'après (Budde et al., 2010; Silventoinen et al., 2011)

1. La dimension stratégie PLM, conjointe à la stratégie produit et basée sur la stratégie d'entreprise. Dans cette dimension, l'entreprise établit l'adéquation entre la gestion globale des processus opérationnels en adéquation avec l'offre de l'entreprise et du contexte

entrepreneurial. Par exemple, c'est au niveau de la stratégie PLM que l'entreprise détermine si elle emploie des démarches « *make-to-stock* », « *assembly-to-order* », le degré de sur-mesure, la nature du cycle de vie commercial des produits (*remanufacturing*, recyclage etc.). De la dimension stratégie PLM découle la dimension des processus PLM.

2. La dimension des processus PLM opérationnalisent les activités d'ingénierie pour répondre aux besoins définis dans la stratégie PLM. Ils comprennent :
 - les processus propres au développement du produit sur son cycle de vie participant directement à l'évolution du système depuis l'expression du besoin à la fin de vie, comme le *stage-gate* ou le *chain link model* ;
 - les processus d'intégration fonctionnelle, transversaux aux tâches de développement, qui encadrent la coopération entre différentes disciplines de l'entreprise impliquées dans le développement des systèmes.

Cette dimension est équivalente à la définition des processus et méthodes d'ingénierie que nous utilisons dans le cadre méthodologique.

3. La dimension des structures produits PLM portent l'information relatives à la description du produit, notamment via des modèles de données adéquats. Elles définissent « les relations structurées entre les composants de produit et l'information qui leur est liée » (Budde et al., 2010). La structure produit PLM regroupe les différentes vues décrivant le produit abstrait ou physique, à travers sa décomposition en éléments fonctionnels ou physiques, voire des modèles comportementaux. C'est dans cette dimensions que sont considérées les vues adaptées aux disciplines d'ingénierie concernées parmi la conception du produit, la production, la logistique, les services de maintenance ou d'autres selon les activités de l'entreprise. Plus largement que le produit, il est possible d'élargir la dimension structures pour y intégrer les informations relatives au projet de développement. Un enjeu du PLM est d'assurer l'interopérabilité des différents systèmes exploitant ces données à travers des modélisations du produit, du processus et de l'organisation. Le modèle de Product Process Organisation et sa mise en œuvre dans une plateforme d'interopérabilité adresse notamment cette problématique (Etienne et al., 2011) et permet également de s'appuyer sur les représentations du produit pour la collaboration en ingénierie (Yesilbas et al., 2006).
4. La dimension systèmes PLM, qui est reformulée ici architecture IT PLM pour éviter l'ambiguïté du mot « système ». C'est dans cette dimension que les processus et structures sont concrétisés via des outils informatiques. Les outils numériques sont utilisés à plusieurs escients dans une approche PLM, à travers par exemple des outils de conception assistée par ordinateur, des systèmes d'aide à la décision, des systèmes supports à l'édition et la gestion des informations produit et les couches d'intégration logicielle. On distingue deux types de systèmes dans l'architecture IT PLM :
 - Les systèmes support à la production accompagnent les processus de développement de produit, on compte notamment les systèmes de gestion de workflows, les systèmes de conception détaillée des produits, dont les données sont sauvegardées dans les systèmes de gestion de données techniques, les systèmes collaboratifs et les systèmes de gestion multi-projet ;
 - Les systèmes d'aide à la décision agrègent et compilent des données issues des systèmes de production dans le but de fournir des indicateurs utiles aux tâches de décision.

Les couches d'intégration logicielles permettent la continuité des données d'ingénierie du PLM entre les différents outils informatiques du PLM ou avec d'autres systèmes voisins, par exemple le lien entre la nomenclature d'ingénierie et la maquette numérique ou le lien entre le PLM et l'ERP pour les phases de production et logistique et CRM pour les phases de commerce et d'usage du produit. En effet, peu de ces systèmes peuvent nativement interagir pour échanger des données et les lier peut nécessiter un travail spécifique.

5. La dimension culture et personnes PLM, dont le poids dans la littérature PLM reste faible, de par son orientation considérée comme managériale. On y retrouve les notions de connaissances et de compétences associées et nécessaires à la dimension des processus PLM.

Le PLM est une approche majeure dans le développement des produits et contribue à la réponse à la problématique mais présente aussi des limites pour le développement des PSS. Ces apports et limites sont exposés comme suit.

Apports. La représentation donnée par (Budde et al., 2010; Silventoinen et al., 2011) est cohérente avec la description des approches d'ingénierie utilisée en dans la structuration de l'état de l'art et permet d'appréhender concrètement les notions d'approches en s'intéressant aux dimensions qui la composent : les processus et méthodes dans la dimension processus PLM les outils dans la dimension architecture IT et les modélisations dans la dimension structures PLM, comme présenté en Figure 2-9 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Dans le contexte de ces travaux pour le développement des PSS, nous avons identifié l'importance de mettre en cohérence ce qui est présenté ici dans un modèle unifié.

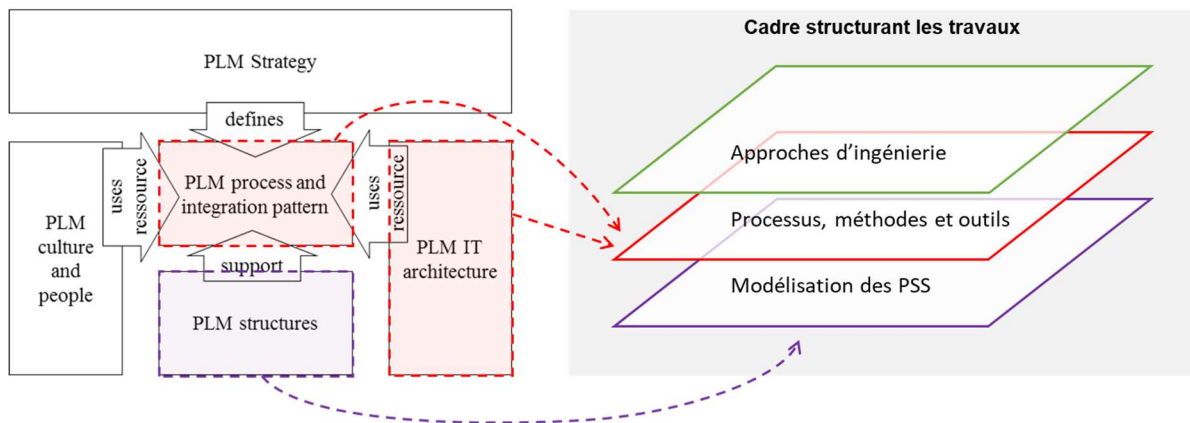


Figure 2-9 Liens entre les 5 dimensions du PLM et le cadre structurant les travaux

Limites. Cette représentation, qui propose un cadre pertinent pour décrire un modèle générique des approches centrées sur le cycle de vie, est proposée dans une perspective d'ingénierie de produits. Il est possible de voir son instantiation dans de nombreux cas d'ingénierie des produits. Cette représentation semble pertinente pour aborder les concepts du cadre méthodologique avec cohérence mais elle ne donne qu'un cadre général qu'il est nécessaire de détailler au travers des processus, méthodes et outils, ainsi qu'au niveau des modélisations.

2.2.3. Le Service Lifecycle Management

Des approches similaires au PLM intégrant les notions de service ont été proposées dans différentes contributions. Dans les années 2000, le SLM apparait avec (Brown, 2003) comme une

stratégie pour structurer les activités relatives à l'après-vente d'un produit et mieux profiter de la valeur potentielle dégagée lors de l'entretien et la réparation des produits. Un principe majeur de cette approche est de centrer l'approche sur les activités de service à travers toutes les étapes qui le composent durant son cycle de vie.

Le concept de cycle de vie du service se définit comme la structuration du service selon les différentes étapes de son cycle de vie. Selon (Bullinger et al., 2003), c'est un concept pertinent pour l'amélioration du développement des services. (Peruzzini et al., 2012) identifient les phases du cycle de vie du service en se basant sur la norme ISO 15704:2000, qui sont présentés en Figure 2-10.



Figure 2-10 Le cycle de vie du service selon (Peruzzini et al., 2012)

Ces phases du cycle de vie décrivent le service selon un point de vue fortement axé sur le développement par Ingénierie Système et représentent les étapes du cycle de vie du service dans une vue orientée sur sa maturité dans son cycle de développement.

Plus largement, le SLM reprend les fondamentaux du PLM, transposés aux services. Il s'agit d'une approche qui s'intéresse à tout le cycle de vie des services et qui supporte les activités de développement des services. Les principes constitutifs de cette approche sont :

- la description des services dans des représentations définies et structurées. Une représentation explicite et structurée est nécessaire afin de mettre en place des méthodes de développement des services rigoureuses selon (Bullinger et al., 2003). Les représentations considèrent la structure des systèmes de services, les composants, mais aussi les processus opératoires des services ;
- l'ingénierie collaborative qui repose sur le partage entre les différentes parties prenantes des différentes représentations des services développés et sur la coordination des activités de développement des services ;
- l'utilisation d'outils informatiques dans le développement des services répondant aux deux principes précédents. Elle permet de stocker la grande quantité d'informations produites durant le développement sous forme de documents ou de données stockées en base et d'assister au pilotage du développement des services. Les équipes de développement travaillent dans des environnements logiciels leurs permettant de traiter le volume, la complexité et les évolutions de ces représentations des services ou du pilotage des activités de développement.

Apports. Avec les travaux de la littérature à propos du SLM, il est possible de déterminer un cycle de vie du service autour duquel articuler les activités d'ingénierie et faire évoluer les modélisations de service. L'appel à une approche orientée sur le cycle de vie est pertinent pour conduire les activités de développement de service.

Limites. Le SLM est une approche émergente dans la littérature. Pour répondre à la problématique, il est nécessaire de décrire plus complètement comment le SLM permet de supporter l'ingénierie des services.

De plus, le SLM est centré sur le développement des services et ne permet pas de considérer les produits indépendamment des services. Cette approche suit une logique dans laquelle les composants tangibles (le produit) sont considérés comme des ressources du service. Cette approche ne considère pas le produit seul comme une offre et ne permet pas aux entreprises de proposer des offres de produit pure. Elles sont donc insuffisantes pour l'ingénierie d'un produit dans le cas d'une entreprise en cours de *servicization* qui souhaite conserver une approche dédiée aux produits, ce qui est le cas des constructeurs automobiles.

Dans la bibliographie, il existe plusieurs stratégies pour supporter l'ingénierie des PSS à travers des approches dédiées. Ces approches sont détaillées dans la section suivante.

2.2.4. Les approches cycle de vie des PSS

Plusieurs cas de figure se présentent pour l'ingénierie PSS. D'une part, il y a les démarches qui proposent des schémas d'interaction entre des approches produit et des approches service, en l'occurrence PLM et SLM. D'autre part, certaines contributions revendiquent une unique approche intégrant les composants produit et service du type *Product-Service Lifecycle Management (PSLM)*.

2.2.4.1. Les schémas d'interaction du PLM et du SLM

(Sassanelli et al., 2018) et les contributeurs des rapports du projet DIVERSITY⁷ identifient que le PLM et le SLM ne doivent pas être indépendants pour suivre l'ingénierie des PSS sur leur cycle de vie. Il est donc nécessaire de proposer une stratégie rapprochant PLM et SLM pour une ingénierie PSS qui supporte les interactions entre ses composants produits et services.

Plusieurs schémas d'interaction haut niveau entre le PLM et le SLM sont proposés par (Wiesner et al., 2015), identifiées après des interviews semi-structurées d'experts, présentés en Figure 2-11.

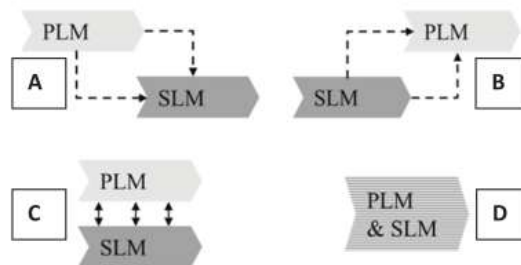


Figure 2-11 Les 4 schémas d'interaction PLM-SLM identifiés par (Wiesner et al., 2015)

Les schémas A et B positionnent le PLM en amont ou en aval du SLM. Dans le cas A, le PLM est en amont du SLM. Cela implique que les phases de développement des services dépendent du PLM. En particulier, cela concentre au niveau du PLM et dans une logique de produit, les phases d'idéation et de développement préliminaire du PSS. C'est notamment le cas du SLM proposé par (Brown, 2003) dans lequel les services sont une offre additionnelle du produit, en tant que services après-vente. Dans le cas B, c'est la disposition inverse qui s'opère. Selon (Wiesner et al., 2015), ce schéma intervient dans le cas d'entreprises dont le produit n'est qu'une partie minoritaire de la valeur délivrée au client. Ils

⁷ <https://www.diversity-project.eu/>

citent notamment une entreprise proposant un service de personnalisation sur-mesure de vêtements, dans lequel le cycle de vie du vêtement (le produit) est déclenché et géré par le service.

Le cas C dispose en parallèle PLM et SLM. Dans ce schéma, les produits et les services sont conçus individuellement et des interactions entre eux sont identifiées et intégrées lors de leurs développements. Cela permet notamment de dé-corréler l'ingénierie des produits du développement des services, dans le sens où la conception de l'un ne s'inscrit pas comme un sous processus du développement de l'autre. Les cycles de vie produit et services sont indépendants ce qui est caractéristique des PSS automobiles dont les cycles de vie des véhicules peuvent être largement supérieurs à ceux des services. Des processus sont néanmoins nécessaires pour organiser l'ingénierie concourante des produits et services.

Enfin, le cas D présente un schéma intégrant complètement PLM et SLM. Cela implique une structuration centralisée du produit et du service autour d'un cycle de vie commun. La stratégie de développement, les activités de développement, les méthodes mais aussi les outils d'ingénierie ainsi que les représentations des systèmes sont homogènes autour du cycle de vie des PSS. La complexité du cycle de vie d'un PSS, mais aussi la forte installation des approches PLM dans l'industrie automobile semble néanmoins écarter le cas D à court et moyen termes.

2.2.4.2. Les approches centrées sur le cycle de vie du PSS

(Sassanelli et al., 2018) suivent le cas D et proposent d'inscrire le développement des PSS dans une démarche d'ingénierie basée sur les connaissances. Dans l'approche du *Product-Service Lifecycle Management* (PSLM) mise en œuvre par le *Product-Service Data Management* (PSDM), leur approche se concentre en particulier sur la gestion des données relatives au PSS. Le PSLM est utilisé dans le développement du PSS en structurant les connaissances associées au développement, à travers des pratiques de Gestion des Connaissances (*Knowledge Management*). (Sassanelli et al., 2018) proposent de structurer et capitaliser des règles de conception (*Lean Design Rule and Techniques*) spécifiques aux PSS. Une solution logicielle permet de sauvegarder, structurer, caractériser et partager les règles de conception, ainsi que de les associer aux différents systèmes produits et services développés par l'entreprise. Enfin, les connaissances générées sont réutilisables de manière transversale aux systèmes et à travers le temps. Cette approche permet de résoudre les problématiques liées aux systèmes complexes, pluridisciplinaires. Elle est pertinente dans le cas de l'innovation incrémentale des PSS car elle repose sur une forte réutilisation de l'existant.

(Wang et al., 2011b) analysent plusieurs méthodes d'ingénierie des PSS existant dans la bibliographie et identifient la nécessité d'intégrer les méthodes courantes d'ingénierie des produits et d'ingénierie des services afin de développer des PSS. Observant un manque de continuité de ces méthodes d'ingénierie tout au long du cycle de vie du PSS, ils proposent un *framework* centré sur le cycle de vie des PSS ayant pour but d'intégrer les méthodes de développement de PSS qui sont aujourd'hui fragmentées. L'approche PSLM est définie comme suit :

- Elle permet la collaboration des parties prenantes du PSS pour parvenir à une optimisation globale du PSS ;
- Elle découpe le cycle de vie du PSS en 8 phases et identifie des activités parallèles pour le développement des produits et services, ainsi que des outils pratiques dans la réalisation de ces activités ;
- Elle intègre la modularité des PSS comme un des principes fondamentaux du développement des PSS. Pour cela, les auteurs proposent le *Modular Product-Service*

Development (MPSD), un processus basé sur une première approche fonctionnelle qui permet de décliner les modules produit ou services à développer, tout en suivant leur configuration à travers le concept de variantes. Cette approche modulaire est présentée sur la Figure 2-12 ;

- Dans le processus MPSD, elle considère le PSS comme un ensemble intégré dans la première phase de conception fonctionnelle et sépare ensuite les produits et les services pour la conception détaillée ;
- Elle repose sur une ontologie relative au développement modulaire des PSS, afin de supporter l'échange de données, les phases d'étude, de test et de validation lors du développement des PSS.

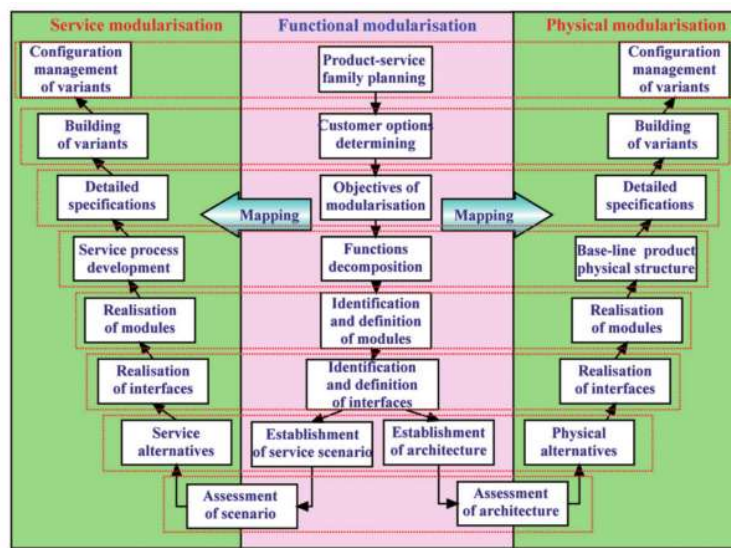


Figure 2-12 MPSD, le processus de développement central du PSLM selon (Wang et al., 2011a)

Les auteurs explicitent le besoin d'outils supports au développement des PSS dans l'approche PSLM et en appliquant le processus MPSD, pour gérer la richesse d'informations relatives aux PSS et leurs nombreuses interactions internes, alors qu'il n'existe pas d'outil informatique spécifique au développement des PSS aujourd'hui. Cette modularité du produit et du service est un principe essentiel pour assurer la capacité de gestion du produit et du service en dualité.

Apports. Les schémas d'interaction entre PLM et SLM proposent des alternatives permettant de gérer le PSS dans sa dualité produit-service. Ces schémas montrent que le choix des approches mises en place pour gérer les PSS dépend nécessairement de la stratégie de l'entreprise. Dans le cas de la *servicization* d'un constructeur automobile, disposer en parallèle du PLM et du SLM permet de gérer individuellement les produits et les services avec des approches qui supportent les spécificités liées à ces objets de nature différente.

Les deux approches centrées sur le cycle de vie des PSS sont centrées sur deux éléments différents : le PSLM de (Sassanelli et al., 2018) est centré sur les représentations des PSS, les connaissances et les règles de conception associées, alors que le PSLM de (Wang et al., 2011a) se structure autour d'un cycle de développement emprunté au cycle en V et intégrant les pratiques de conception modulaire.

Limites. Grace aux schémas d'interaction entre PLM et SLM, nous avons pu déterminer que disposer du PLM et du SLM en parallèle permet de répondre à la problématique. Cependant, ces schémas restent haut niveau et il est nécessaire de définir comment ces interactions se concrétisent au niveau des processus méthodes, outils et modélisation des PSS. Pour cela, il est nécessaire de définir les interactions entre produits et services et de les transposer au schéma d'interaction PLM – SLM en parallèle.

2.2.5. L'ingénierie système

Dans cette partie, nous évaluons dans quelle mesure l'Ingénierie Système permet de structurer les interactions entre produits et services qui sont au cœur du schéma d'interaction PLM – SLM en parallèle.

Les PSS sont par définition des systèmes, du fait des interactions entre les différents composants de produits et services. Un système est défini comme une « combinaison d'éléments en interaction organisés pour atteindre un ou plusieurs objectifs définis » (ISO/IEC 15288).

Afin d'appréhender la conception des systèmes, différents organismes principalement issus du monde industriel mais aussi du monde scientifique (Bricogne, 2015) ont formalisé l'approche à travers des normes (ISO/IEC/IEEE 15288:2015) (« ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering — System life cycle processes, » 2015) et des *handbooks*, notamment celui de l'*International Council on Systems Engineering* (INCOSE), de l'Association Française d'Ingénierie Système (AFIS) et de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (Association Française d'Ingénierie Système, 2009; INCOSE, 2015; NASA, 2016). La NASA définit l'Ingénierie Système (IS) comme une approche autour du cycle de vie des systèmes : « *systems engineering* » is defined as a methodical, multi-disciplinary approach for the design, realization, technical management, operations, and retirement of a system » (NASA, 2016). Quant à la norme ISO/IEC/IEEE 15288:2015, elle définit l'Ingénierie Système comme une « *interdisciplinary approach governing the total technical and managerial effort required to transform a set of stakeholder needs, expectations, and constraints into a solution and to support that solution throughout its life* ». Ce standard liste 30 processus d'ingénierie système présentés en Figure 2-13, selon 4 catégories : les *agreement processes* régissant les liens de client-fournisseurs d'une entreprise, les *organizational project-enabling processes* qui gèrent la mise à disposition des ressources matérielles et immatérielles impliquées dans la réalisation d'un projet d'ingénierie système, les *technical management processes* mis en œuvre dans la planification et le contrôle des activités d'ingénierie et les *technical processes* qui sont au cœur de la conception et de l'opération des systèmes en permettant de définir les exigences, de les transformer en solution, de réaliser le système, de l'utiliser et de le désengager vers sa retraite.

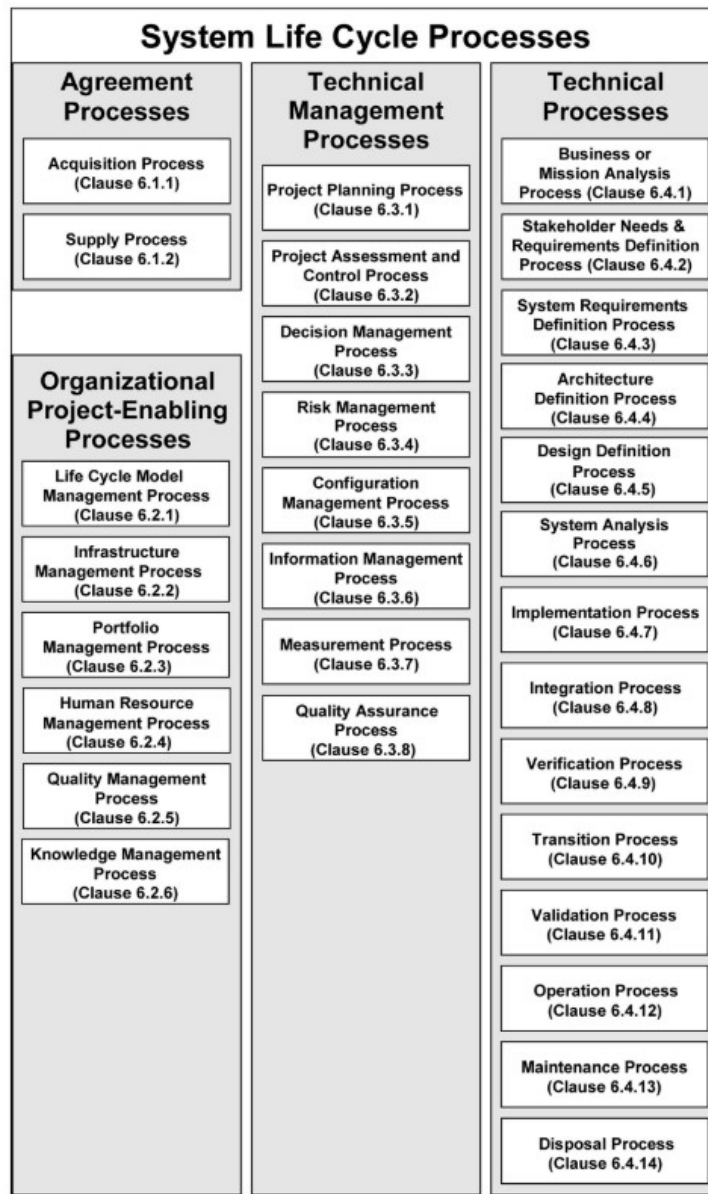


Figure 2-13 Les processus d'ingénierie système sur le cycle de vie selon le standard ISO/IEC/IEEE 15288:2015

Ces différentes catégories de processus sont détaillées dans le standard. Elles ont été reprises et analysées selon les critères définis dans notre contexte, dans le cadre des PSS automobiles. Cette analyse est synthétisée dans le Tableau 2-2.

- La première ligne, nommée *agreement processes*, permet de contribuer au critère de la gestion des parties prenantes et se consacre à la contractualisation des relations entre les entreprises et leurs partenaires ;
- La deuxième ligne, nommée *organizational management processes*, comprend des processus propres à la gestion des activités d'ingénierie. Elle porte la structuration du cycle de vie du système avec le process *lifecycle model management* et vient référencer l'ensemble du processus de développement du système sur ce modèle. Elle contribue donc au premier critère à propos de cycle de vie des PSS. Elle s'intéresse à la gestion des infrastructures supports des systèmes et contribue donc au critère correspondant ;

- La troisième ligne, nommée *technical management process* s'inscrit dans le cycle de vie des PSS par le sous-processus de *project planning* qui se base sur le cycle de vie du système pour organiser les *technical processes*, c'est-à-dire les tâches de développement. Elle comprend un sous-processus de *configuration management* qui a pour but de gérer les configurations des systèmes au long de leur cycle de vie et contribue par conséquent à la gestion de la diversité des PSS. Enfin, cette catégorie de processus contribue partiellement au critère de gestion des données d'usage. Le sous-processus d'*information management* permet de gérer la définition, la structuration, les échanges et la transformation des données informatiques mises en œuvre dans le projet de développement d'un système. De plus, le sous-processus de *measurement* organise la manière dont les mesures d'un système sont réalisées, ce qui pour le cas des PSS automobiles peut concerner la remontée de données des véhicules à des fins d'amélioration de la conception ;
- La quatrième ligne, nommée *technical processes* satisfait plus complètement de nombreux critères. Les sous-processus *architecture definition* et *design definition* permettent la conception du PSS par des vues comprenant la définition du système en plusieurs niveaux, la définition des aspects comportementaux nécessaires au critère de dynamique des PSS, l'intégration des infrastructures comme éléments des systèmes et la formalisation des échanges de données mises en œuvre dans l'intégration des données d'usage. La gestion de la diversité des PSS s'inscrit aussi dans ces sous-processus et le sous-processus *integration* contribue à la vérification des configurations de PSS. Les sous-processus *stakeholders needs & requirement definition*, *system requirement definition process*, *verification process*, *transition process* et *validation process* contribuent à l'intégration des parties prenantes dans le développement et la gestion des PSS.








Catégorie de processus	Critères d'analyse de la problématique						
							
<i>Agreement processes</i>						X	
<i>Organizational management processes</i>	X				X		
<i>Technical management processes</i>	X		X				X
<i>Technical processes</i>		X	X	X		X	X

Tableau 2-2 Synthèse de la correspondance des critères d'analyse aux processus d'ingénierie système

Cette représentation synthétise et permet d'identifier quelles catégories de processus répond aux critères d'analyse et guide la suite de l'état de l'art.

Apports. L'Ingénierie Système s'intéresse aux processus d'ingénierie, mais aussi aux méthodes d'ingénierie. Grâce à la définition des différents processus, elle nous permet d'associer des critères d'analyse à des processus, méthodes et concepts particuliers, que nous utiliserons pour analyser le reste de l'état de l'art.

Ainsi, nous déterminons que la gestion des cycles de vie des PSS est traitée par les *Organizational Management Processes* à travers la modélisation de ce cycle de vie et son utilisation comme support

aux processus de développement. Elle met en œuvre des pratiques d'architecture des systèmes qui permettent de décomposer un système et satisfait le deuxième critère de définition de plusieurs niveaux de détail. Le critère de diversité est abordé à travers les processus de gestion de configuration. Le critère de dynamique des PSS est abordé à travers les points de vue comportementaux de l'Ingénierie Système. Les infrastructures sont considérées dans l'ingénierie système comme des entités de l'entreprise qui supporte certaines phases de vie du système. Les parties prenantes sont intégrées à travers les exigences et les intègre dans le processus de conception. Enfin, les données d'usage sont traitées dans le sous-processus d'*Information Management* de la catégorie des *Technical Management Processes*, mais aussi dans les *Technical Processes* en étant prises en compte dans les architectures du système.

Limites. De manière générale, dans la suite des travaux il est nécessaire de concrétiser les processus et méthodes ciblés par ce standard. En effet, le standard prescrit les différents types d'activités à mettre en œuvre pour le développement des systèmes mais ne détaille pas les processus, méthodes et outils. Cette question est abordée plus tard au niveau des processus, méthodes et outils dans l'état de l'art.

De plus, les infrastructures sont présentées comme des assets de l'entreprise mais semblent faiblement intégrées aux architectures du système, alors que dans le cas des PSS automobiles, elles font partie de la solution.

2.2.6. Approches d'ingénierie : synthèse intermédiaire

Les approches d'ingénierie en contexte manufacturier apportent des cadres méthodologiques pertinents pour maîtriser la chaîne de valeur d'un système à travers les différentes phases qu'il traverse. Ces travaux se concentrent sur les phases de développement des systèmes PSS, ce qui trouve sa place dans les approches centrées sur le cycle de vie, notamment durant le BoL et le MoL. L'ingénierie système propose un cadre et des principes permettant de répondre à plusieurs enjeux cités dans la problématique. Les apports et manques dans les contributions présentées ici sont synthétisés dans le Tableau 2-3.

Il existe plusieurs schémas d'interaction entre les approches PLM, SLM ou PSLM selon les contextes industriels. L'orientation vers un schéma particulier dépend des spécificités du PSS développé mais aussi du contexte de départ et de la trajectoire de l'entreprise (*servicization* ou *productization*). Dans le cas automobile, le développement d'un véhicule -centré produit- est une activité qui met en œuvre une très grande complexité de processus et d'outils dans un environnement PLM. Or, l'évolution des approches d'ingénierie dans le domaine automobile est une transformation itérative et avec de grands enjeux de coûts, qualité et délais sur les véhicules développés. Il semble donc réaliste de développer les aspects de service du PSS en parallèle de l'approche PLM en place, à travers une approche SLM dédiée. Notre analyse de la littérature nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- le service a son cycle de vie propre (Bullinger et al., 2003; Peruzzini et al., 2012);
- le SLM est une transposition du PLM et de ses principes constitutifs (Peruzzini et al., 2012; Wiesner et al., 2015);
- la dualité entre produit et service permet de différencier leurs cycles de vie et est facilitée par une démarche modulaire (Wang et al., 2011a).








Critères d'analyse		Approches centrées cycle de vie	Approche d'ingénierie système (IS)
	Cycles de vie des PSS	<p>Apports : Le PLM et le SLM structurent le développement des PSS sur le cycle de vie des services.</p> <p>Positionner le PLM et le SLM en parallèle permet de gérer individuellement les produits et les services sur leurs propres cycles de vie.</p> <p>Limites : Il est nécessaire de caractériser leurs interactions en détail aux niveaux inférieurs du cadre méthodologique.</p>	<p>Apports : La modélisation du cycle de vie structure l'ensemble du processus de développement du système.</p> <p>Limites : Il est nécessaire de modéliser ce cycle de vie de manière à diviser le PSS en produits et services</p>
	Niveaux de définitions	<p>Apports : Le PLM et le SLM sont centrés sur la définition des produits et services à travers des modèles qui sont décrits avec plusieurs niveaux de définition.</p> <p>Limites : Le niveau de définition n'est pas supporté au niveau des approches mais à travers les processus et méthodes qui les composent.</p>	<p>Apports : L'IS permet la décomposition d'un système en sous-systèmes et composants à travers les architectures.</p> <p>Limites : Il est nécessaire de définir en détail les architectures dans la suite de l'état de l'art</p>
	Gestion de la diversité	<p>Apports : La définition des systèmes à travers des modèles et dans des systèmes d'information permet de structurer la diversité des produits et des services.</p> <p>Limites : Il faut établir comment la diversité peut être gérée dans le cas d'une interaction entre PLM et SLM.</p>	<p>Apports : La gestion de configuration est un processus de l'IS permettant de gérer la diversité des systèmes.</p> <p>Limites : L'IS ne décrit pas comment associer la diversité des produits et des services</p>
	Dynamique des PSS	<p>Apports : La considération du cycle de vie du PSS permet de prendre en compte à la conception les phases d'usage du PSS</p> <p>Limites : La dynamique des PSS est à détailler au niveau des processus, méthodes, outils et modèles.</p>	<p>Apports : L'IS prend intègre des vues comportementales des systèmes.</p> <p>Limites : Il est nécessaire de détailler comment ces vues comportementales s'intègrent aux processus, méthodes, outils et modèles.</p>
	Infrastructures de service	<p>Limites : Les infrastructures de service ne sont pas mentionnées au niveau de l'approche SLM</p>	<p>Apports : Les infrastructures de service s'intègrent dans l'approche d'IS à travers les systèmes contributeurs</p>
	Parties prenantes	<p>Apports : Les approches centrées sur les cycles de vie ont comme principe l'intégration des parties prenantes dans le cadre de l'ingénierie collaborative. La continuité numérique est un facteur d'intégration des parties prenantes.</p> <p>Limites : l'intégration des parties prenantes est à détailler au niveau des processus, méthodes, outils et modèles.</p>	<p>Apports : L'IS comporte dans ses processus l'ingénierie des exigences qui permet de recenser les parties prenantes d'un système.</p> <p>Limites : Il est nécessaire de définir plus précisément les exigences et de préciser comment elles s'intègrent aux processus, méthodes, outils et modèles.</p>
	Données d'usage	<p>Limites : Les approches PLM-SLM sont centrées sur le début de vie des systèmes et doivent évoluer pour intégrer les données et activités liées aux données d'usage des PSS.</p>	<p>Apports : Le processus d'<i>information management</i> permet de structurer et sauvegarder les données, le processus de <i>measurement</i> permet de valoriser les données d'usage pour la conception des PSS.</p> <p>Limites : Il est nécessaire de détailler dans les processus, méthodes, outils comment sont traitées les données d'usage et dans les modèles, comment elles sont structurées.</p>

Tableau 2-3 Synthèse des apports et limites des contributions au niveau des approches d'ingénierie

Les apports listés dans cette première partie de l'état de l'art ne répondent pas entièrement à la problématique proposée. Les approches SLM ou PSLM restent en effet émergentes et peu d'exemples d'applications sont disponibles dans le corpus littéraire étudié. De plus, les apports de la littérature sur les schémas d'interaction PLM et SLM se consacrent à un niveau stratégique de l'entreprise et devront se retranscrire aux niveaux des processus, méthodes et outils de développement, ainsi que sur la modélisation des PSS. En addition, la distinction entre les objets considérés comme produit et service n'est pas explicite, alors que la mise en pratique du développement de PSS nécessite un positionnement clair sur cette question. Enfin, l'interaction entre les cycles de vie du produit et du service devra être élucidée.

L'ingénierie système propose une typologie de processus pertinente pour définir l'ensemble des processus autour du cycle de vie des systèmes. Elle donne des définitions structurantes des processus directement liés à la conception et à l'opération mais aussi des processus de gestion des activités d'ingénierie, or ces deux niveaux ont été identifiés comme nécessaires dans l'étude des approches PLM et extrapolées au SLM.

Dans cette partie, nous avons déterminé que le PLM et le SLM sont deux approches permettant de supporter le développement du PSS et que l'Ingénierie Système permet de structurer les interactions entre ces approches. Enfin, ces trois approches contribuent à répondre à la problématique et fournissent des orientations qu'il est nécessaire de préciser dans les niveaux inférieurs du cadre méthodologique.

2.3. Les processus, méthodes et outils d'ingénierie des PSS

Dans la suite, nous présentons l'état de l'art sur le second niveau du cadre méthodologique, c'est-à-dire à propos des processus, méthodes et outils mis en œuvre dans le développement des PSS et en regard des orientations issues des approches d'ingénierie.

Les contributions de la littérature se concentrant sur les méthodes et processus d'ingénierie sont plus appliquées que les approches vues précédemment. Elles présentent des démarches employées dans le développement de systèmes relatives à la problématique énoncée.

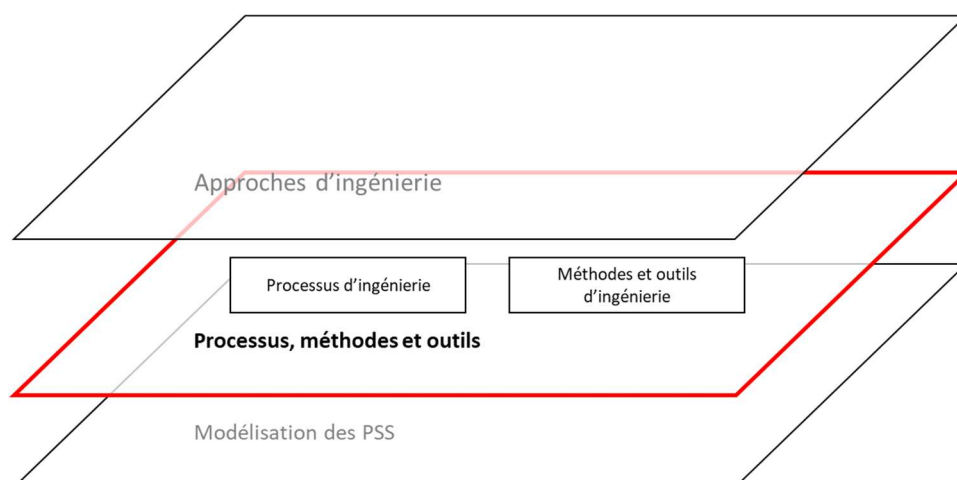


Figure 2-14 Structuration de l'état de l'art sur les thématiques des processus, méthodes et outils d'ingénierie

Cette section de l'état de l'art est traitée en deux parties (voir Figure 2-14). Dans la suite, la première partie se consacre aux processus d'ingénierie des PSS, la seconde se consacre aux méthodes et outils. La distinction réalisée ici entre processus et méthodes correspond aux définitions données début de ce chapitre.

2.3.1. Processus d'ingénierie des PSS

Les processus formalisent les activités réalisées et prennent en considération les ressources associées aux activités de développement. Le niveau de processus prend en compte les disciplines mises en œuvre dans les activités de développement, les rôles des contributeurs au développement mais aussi la logique d'organisation des activités de développement. Dans le cas des PSS automobiles, nous déclinons les critères d'analyse en points d'attention pour l'étude des processus existants. Ces déclinaisons sont présentées en Tableau 2-4.








Critère d'analyse		Déclinaison au niveau des processus d'ingénierie des PSS « les processus doivent permettre de... »
	Cycle de vie	Définir le cycle de vie de PSS et déterminer comment il est lié aux cycles de vie des produits et services.
	Niveaux de définition	Mettre en œuvre des méthodes de décomposition des PSS
	Gestion de la diversité	Mettre en œuvre la gestion de diversité produit-service
	Dynamique des PSS	Intégrer des méthodes permettant de prendre en compte les phases d'usage du PSS
	Infrastructures	Gérer le développement des infrastructures internes et externes au PSS
	Parties prenantes	Organiser l'interaction entre les différentes parties prenantes lors du développement du PSS
	Données d'usage	Mettre en œuvre la captation, la gestion et le l'exploitation des données d'usage

Tableau 2-4 Déclinaison des critères d'analyses en points d'attention pour les processus

La suite de l'état de l'art au niveau des processus est étudiée en regard de ces critères d'analyse.

2.3.1.1. Processus modulaire pour l'ingénierie des PSS

Les processus d'ingénierie sont un facteur important de la performance d'une activité de développement. Il est important de les définir de manière robuste, en intégrant notamment les acteurs et la coordination de leurs activités à travers des outils informatiques supportant l'ingénierie collaborative (Merlo et al., 2004). Dans un environnement PLM, (Pol et al., 2008) identifie l'intérêt de décomposer un processus de développement en plusieurs niveaux, du projet au produit. De manière similaire, Aurich et al. proposent un processus orienté cycle de vie pour l'ingénierie des PSS, en intégrant une logique de modularité du processus (Aurich et al., 2006). Ils décomposent la phase d'ingénierie en « *process modules* », qui sont des blocs constituant un processus, identifiables et différenciables entre eux. Un *process module* s'entend comme une sous-phase de conception, représentée par une boîte noire définie par un état entrant, un état sortant et un changement d'état (l'activité). Le processus au niveau macro

est décomposé en plusieurs processus au niveau élémentaire. Cela permet de distribuer les activités de développement avec un niveau de détail avancé, dans une approche modulaire (voir Figure 2-15).

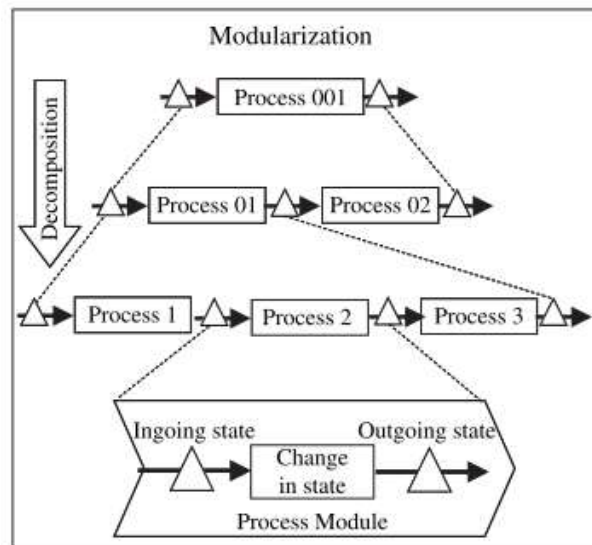


Figure 2-15 Processus (macro) de développement et décomposition en process modules (micro)

Dans le cas de l'ingénierie d'un PSS, les *process modules* seront de nature « *product design* » ou « *service design* », selon la nature des activités de conception réalisées. Ces *process modules* sont organisés entre eux grâce à l'identification de leurs entrées et sorties, permettant d'organiser l'enchaînement des activités de développement de manière adaptée aux spécificités du développement en question (voir Figure 2-16). Les process modules sont sauvegardés et référencés dans une bibliothèque (nommée *reference process library*) pour être réutilisée à travers les différents développements.

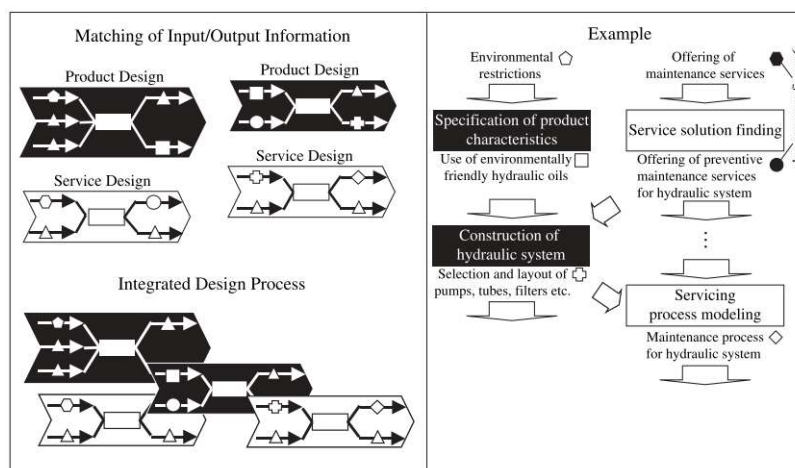


Figure 2-16 Intégration des process modules dans l'*Integrated Design Process*

Apports. Cette modularité du processus de développement permet un haut degré d'adaptation du processus au contexte de développement. Or, le développement de PSS varie potentiellement beaucoup

d'un PSS à l'autre, alors que le développement des véhicules suit des processus relativement transposables d'un véhicule à l'autre. C'est particulièrement pertinent dans le cas de PSS dont la complexité des services peut être variable : par exemple lorsque l'on compare un service de robot-taxi avec un service de préchauffage du véhicule, le premier devra intégrer plus de disciplines, de parties prenantes, d'infrastructures et une phase de vérification – intégration – validation plus robuste.

De plus, cette modularité permet d'ajuster les processus à des évolutions de l'organisation des entreprises, ce qui est pertinent pour une entreprise manufacturière qui opère une *servicization* et qui peut nécessiter cette flexibilité pour faire évoluer ses processus. On peut citer par exemple des évolutions dans le découpage organisationnel de l'entreprise, les compétences et domaines métiers, à la sous-traitance ou les partenariats avec d'autres organisations que l'entreprise.

Limites. Ce processus modulaire éclate l'activité de développement de PSS en sous étapes transformant des entrées en sorties, dans une logique de progression continue d'un *process module* au(x) suivant(s). Cette contribution ne définit pas un processus mais plutôt une démarche de construction des processus. Elle n'indique pas quel processus mettre en place pour le développement des PSS, mais propose de construire ce processus de manière modulaire. Il est donc nécessaire de déterminer comment cette démarche de construction modulaire est instanciée sur le cycle de vie du PSS.

2.3.1.2. Allocation fonctionnelle pour l'ingénierie pluridisciplinaire des PSS

Le processus présenté ensuite permet de répondre à cette limite en proposant de définir un processus instancié.

Dans la conception des PSS, Müller et al. proposent les pratiques de la mécatronique pour l'ingénierie des PSS, en particulier en s'attachant à la collaboration entre plusieurs disciplines d'ingénierie (Müller et al., 2007). Enrichissant le cycle en V défini selon le VDI 2206 (Gausemeier et al., 2002), leur proposition consiste à étudier le besoin de manière globale, puis à le décliner en fonctions système qui seront allouées ou partitionnées à différentes disciplines dont l'ingénierie de service, l'ingénierie mécanique, l'ingénierie électrique et l'ingénierie informatique. Le cycle en V décrit ici est présenté en Figure 2-17.

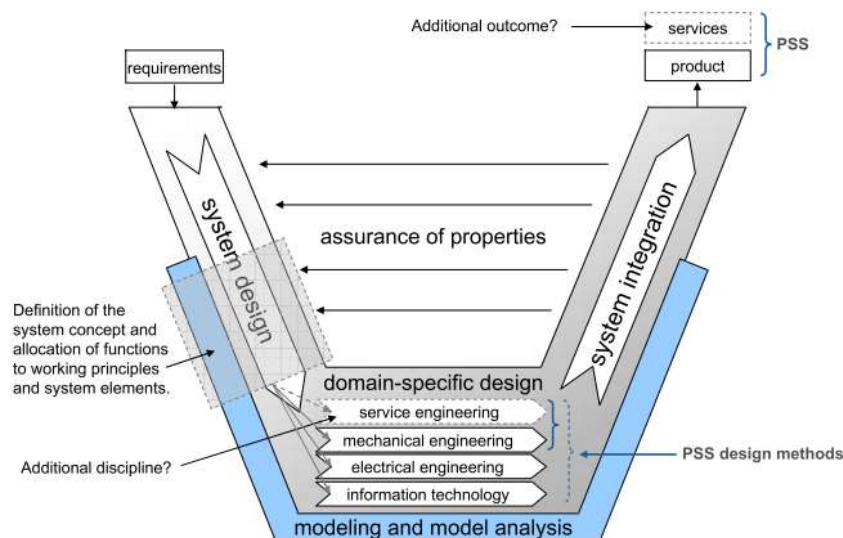


Figure 2-17 Cycle en V adapté à l'ingénierie des PSS

Le processus suit une modélisation fonctionnelle, puis aborde la formulation d'une solution conceptuelle en amont de l'allocation qui partitionne la conception selon les domaines spécifiques d'ingénierie. Il est décrit en Figure 2-17. Dans un premier temps, les exigences externes sont recueillies et analysées. Une première phase de conception permet de définir des systèmes et sous-systèmes d'un point de vue fonctionnel. La phase d'allocation aux domaines repose sur la détermination des principes de solution choisis pour satisfaire les fonctions établies. Deux interviews réalisées pour qualifier ce processus montrent que cette phase d'allocation fonctionnelle est critique et doit être robuste. Enfin, différentes disciplines d'ingénierie sont mises en œuvre suivant l'allocation réalisée précédemment. Sont citées 4 disciplines dont l'ingénierie des services, mais il est possible d'élargir ou d'adapter ces disciplines en fonction des contextes opérationnels. Enfin, la phase d'intégration et de validation consiste à la remontée du cycle en V lors de laquelle la cohérence du système est assurée en regard des exigences initialement posées, dans un premier temps en vérifiant les composants, dans un second temps en les intégrant dans le système global et dans un troisième temps en validant la conformité du système aux exigences.

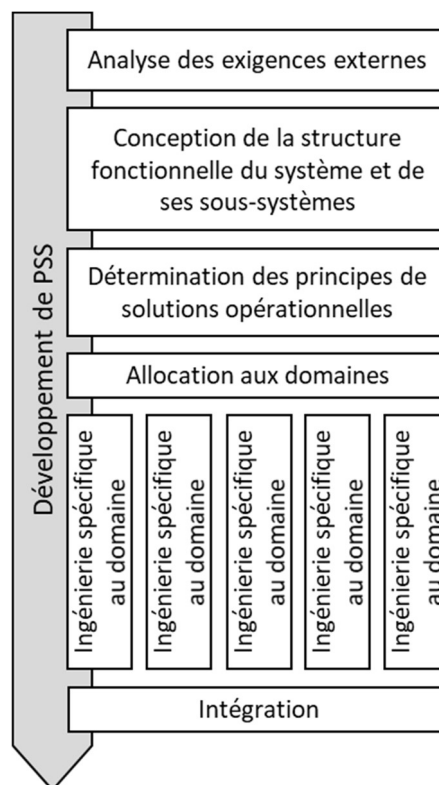


Figure 2-18 Synthèse du processus d'allocation fonctionnelle proposé par (Müller et al., 2007)

Apports. Cette contribution reprend les pratiques d'ingénierie système en spécifiant une démarche orientée PSS. Elle utilise l'allocation fonctionnelle afin de répartir la conception aux différentes disciplines d'ingénierie. À ce titre, elle contribue à l'intégration des parties prenantes dans le processus de développement. Le cycle en V et la démarche globale d'ingénierie système repose sur une décomposition du système en sous-éléments qui satisfait donc le critère de niveaux de décomposition. Elle considère le système comme composé d'éléments de nature produit et service et contribue ainsi au critère de cycle de vie des produits et services. C'est l'étape d'allocation fonctionnelle qui détermine la distinction entre produits et services.

Limites. Cette contribution ne contribue qu'à 3 critères d'analyse, dont partiellement pour l'intégration des parties prenantes. En effet, les parties prenantes interviennent à deux niveaux : au niveau des acteurs dans la vie du PSS (les concepteurs, exploitants, partenaires, etc.) et au niveau du développement pluridisciplinaire. Le processus proposé ne s'intéresse qu'à ce deuxième niveau.

2.3.1.3. Processus : synthèse intermédiaire

Les processus d'ingénierie permettent d'organiser les activités de développement des PSS. Ils dépendent largement des aspects techniques abordés lors du développement, donc des méthodes employées, mais aussi de l'organisation de l'entreprise et de choix liés aux systèmes développés. Il est donc nécessaire de les adapter aux caractéristiques de la *servicization* d'une entreprise manufacturière, que nous traduisons par les critères d'analyse. À travers l'état de l'art, nous avons trouvé différentes contributions en réponse à ces critères d'analyse.

Intégration de plusieurs niveaux de définition du PSS

Le développement des PSS est supporté par des processus issus de l'ingénierie système. Ainsi, le processus MPSD (Wang et al., 2011a) et le processus de développement par un cycle en V de (Müller et al., 2007) permettent de définir un PSS par une architecture définie par l'*International Council on Systems Engineering* (INCOSE) comme « l'arrangement d'éléments et sous-systèmes et l'allocation de fonctions à ces derniers dans le but de satisfaire des exigences » (INCOSE, 2015). Deux types d'architecture sont à la base de ces processus : une architecture fonctionnelle et une architecture structurelle. Elles permettent de décrire le PSS en différents niveaux de définition et de contribuer ainsi au critère associé.

Intégration des parties prenantes

Plusieurs contributions au niveau des processus permettent de répondre au critère d'analyse de l'intégration des parties prenantes. L'intégration des parties prenantes se décline en deux aspects. Le premier est la prise en compte de tous les acteurs intervenant autour du cycle de vie des PSS. Le second est l'organisation d'un développement pluridisciplinaire permettant à différents métiers et expertises de contribuer à la conception du PSS.

La prise en compte des acteurs intervenant dans le développement et l'opération du PSS prend place au niveau des processus d'ingénierie des PSS. À travers l'approche de PSLM proposée par (Wang et al., 2011a), son processus de MPSD et les processus définis par (Müller et al., 2007), les différentes parties prenantes autour du cycle du PSS sont prises en compte dès le début de la conception du PSS à travers des pratiques tirées de l'ingénierie système. Plus précisément, les parties prenantes sont identifiées en début de conception et les processus de conception des PSS s'appuient sur le recueil de leurs besoins et contraintes à travers la notion d'exigences (Muller, 2013; Wang et al., 2011a). Ces exigences sont ensuite mises en œuvre tout au long du développement en étant associées à l'architecture du système.

L'organisation du développement pluridisciplinaire est également traitée à travers les publications étudiées. Le processus de (Müller et al., 2007) se base sur l'architecture fonctionnelle du PSS pour allouer le développement des composants de PSS à des domaines d'ingénierie particuliers. Pour l'ingénierie du véhicule, cela se traduit par exemple par la dissociation du véhicule en systèmes de type motorisation, châssis, habitacle, électronique etc. Cette allocation fonctionnelle permet d'adresser le développement des PSS aux différentes disciplines d'ingénierie en jeu, telles que la

mécanique, l'électronique, l'informatique, etc, supportant ainsi la pluridisciplinarité du développement. La pluridisciplinarité est donc articulée autour de l'allocation des étapes les plus élémentaires du développement aux disciplines spécifiques dans la conception du PSS. Quant aux processus modulaires de l'*Integrated Design Process* (Jan Aurich et al., 2006), ils permettent de décomposer le processus de conception en sous-processus qui peuvent être associés à une discipline particulière.

Intégration des cycles de vie du produit et du service

À ce niveau, l'enjeu de ce critère est de déterminer comment les PSS, produits et services sont différenciés dans les processus de développement. Les processus de développement considèrent le PSS comme un système unifié dans les hauts niveaux de définition, développé par un processus global unique. Ce processus aborde le PSS d'abord par la fonction, puis par la solution du système. C'est au niveau de la solution que le PSS se décompose en produits et services. Notamment, dans le processus de MPSD (Wang et al., 2011a) et le processus de (Müller et al., 2007), le PSS est conçu dans sa globalité jusqu'à l'allocation fonctionnelle, qui articule la transition entre l'architecture fonctionnelle décrite en PSS et l'architecture structurelle, composée de produits ou de services.

Selon les principes fondamentaux des approches PLM et SLM, un processus doit s'adosser à un cycle de vie des PSS, produits ou services. Or, plusieurs relations entre les processus et les schémas d'interaction PLM-SLM définis par (Wiesner et al., 2015) sont possibles. Alors que la deuxième phase, spécifique aux domaines, permet de positionner les sous-systèmes dans les approches orientées soit produit (PLM) soit service (SLM), la littérature ne permet pas de positionner la première phase d'architecture fonctionnelle dans les approches PLM ou SLM. Cette limite, concernant à la fois les approches d'ingénierie et les processus, devra être adressée dans la proposition du travail de recherche.

Les apports et les manques liés aux travaux présentés sont synthétisés dans le Tableau 2-5, repris du tableau présenté en début de cette sous partie spécifique aux processus. Les critères n'ayant pas d'apports dans le tableau ne trouvent pas de contribution dans les processus étudiés.








Critère d'analyse	Déclinaison au niveau des processus d'ingénierie des PSS « les processus doivent permettre de... »	Contributions des processus de développement de PSS
	Définir le cycle de vie de PSS et déterminer comment il est lié aux cycles de vie des produits et services.	Apports : Les processus de développement se basent sur une modélisation du cycle de vie du PSS qui met en utilise l'architecture fonctionnelle, puis l'allocation fonctionnelle pour décomposer le PSS en produits et services, qui sont alors développés selon leur propre cycle de vie. Limites : Les méthodes et modèles doivent suivre cette logique de décomposition. De plus, il est nécessaire de déterminer si le processus de développement de PSS s'inscrit dans le PLM ou le SLM.
	Mettre en œuvre des méthodes de décomposition des PSS	Apports : Les processus s'appuient sur une décomposition du PSS avec l'architecture fonctionnelle puis structurelle. Limites : Néanmoins, ils ne décrivent pas comment est réalisée cette décomposition, qui devra être approfondie dans les méthodes
	Mettre en œuvre la gestion de diversité produit-service	Limites : Il faut définir comment la diversité des PSS s'intègre aux processus de développement
	Intégrer des méthodes prenant en compte la dynamique des PSS	Limites : Il faut définir comment la dynamique des PSS s'intègre aux processus de développement
	Gérer le développement des infrastructures internes et externes au PSS	Limites : Il faut définir comment les infrastructures de PSS sont intégrées dans les processus de développement
	Organiser l'interaction entre les différentes parties prenantes lors du développement du PSS	Apports : Les processus de développement en cycle en V intègrent les différents acteurs du PSS via le recueil d'exigences et l'allocation fonctionnelle permet de supporter la pluridisciplinarité. L' <i>Integrated Design Process</i> permet de définir un processus sur mesure et d'intégrer des acteurs de conception externes à l'entreprise en identifiant par une loi d'entrée/sortie le sous-processus qu'ils réalisent. Limites : Il est nécessaire de détailler comment les exigences sont structurées au niveau des méthodes et des modélisations.
	Mettre en œuvre la gestion des données d'usage	Limites : Il est nécessaire de détailler comment les données d'usage sont gérées pour un PSS particulier, mais aussi au sein de l'entreprise en tant que base de données utilisables pour plusieurs usages en dehors du développement.

Tableau 2-5 Apports des processus de développement de PSS en regard des critères d'analyse

Dans cette partie de l'état de l'art, nous avons déterminé que les processus de développement de PSS suivent des pratiques d'ingénierie système spécifique aux PSS. Ils sont définis autour de la décomposition du PSS en architecture fonctionnelle, puis structurelle après la phase d'allocation fonctionnelle. Les processus proposés contribuent ainsi à la réponse à la problématique à travers trois critères d'analyse. Les méthodes et outils sont présentés dans la suite, en cohérence avec cette partie de l'état de l'art.

2.3.2. Méthodes et outils d'ingénierie des PSS

Dans la suite, nous analysons l'état de l'art au niveau des méthodes et outils d'ingénierie des PSS en regard des critères d'analyse et de la problématique.

Les méthodes traduisent la pratique suivie dans la réalisation des activités d'ingénierie en termes de tâches qui contribuent à la maturation du système développé. Les outils sont utilisés pour faciliter la réalisation des méthodes, en fournissant des capacités de traitement et de stockage de l'information plus important que l'humain, mais aussi en structurant et en contraignant les actions d'un contributeur à travers une méthode définie.

Afin de caractériser les méthodes et outils présents dans l'état de l'art, de la même manière que pour les processus, les critères sont traduits en points d'attention précisés en Tableau 2-6.








Critères d'analyse		Déclinaison en points d'attention relatifs aux méthodes et outils « Les méthodes et outils doivent permettre de... »
	Cycle de vie	Développer le PSS comme un système cohérent possédant son cycle de vie et spécifier les produits et les services qui composent le PSS de manière différenciée.
	Niveaux de définition	Décomposer le PSS en plusieurs niveaux de définition
	Gestion de la diversité	Décrire et associer différentes variantes de produits et services ainsi que leurs associations
	Dynamique des PSS	Maîtriser les aspects comportementaux des PSS, y compris la capacité de les configurer lors de leur réalisation selon les paramètres d'usage
	Infrastructures	Développer les infrastructures comme des sous-systèmes du PSS et permettre l'utilisation des infrastructures existantes
	Parties prenantes	Recueillir les besoins des différentes parties prenantes et intégrer les parties prenantes dans le développement des PSS
	Données d'usage	Définir les données récoltées et comment elles sont échangées, structurées, stockées et traitées

Tableau 2-6 Déclinaison des critères d'analyses en points d'attention pour les méthodes et outils

Les méthodes et outils ont davantage de contributions que les processus et les approches en réponse aux critères d'analyse. Dans une démarche descendante, nous avons identifié les approches et processus pertinents dans le développement des PSS. Ces éléments posent un ensemble de bases qui sont complétées à travers les méthodes et outils analysés ici.

2.3.2.1. Méthode d'ingénierie des PSS par une définition narrative puis technique des PSS

(Morelli, 2006) propose une méthode de développement de PSS intégrant plusieurs parties prenantes, dont des entreprises partenaires. Elle permet notamment de cartographier ces parties prenantes et de documenter les exigences, la modélisation de la structure et les *blueprint* (des représentations graphiques comportementales du PSS). L'auteur propose cette méthode en réponse au fait qu'il persiste une difficulté importante à représenter des PSS possédant une grande complexité d'usages grâce aux approches systémiques. En effet, représenter le PSS en intégrant la subjectivité (actions libres des individus) et la difficile prévisibilité (grand nombre de paramètres influant le scénario réel du PSS) nécessiterait un grand nombre de configurations possibles.

L'auteur propose une approche en deux temps pour gérer la complexité des PSS. Le premier temps utilise des représentations comportementales et narratives du PSS (notamment *service blueprint*

défini par (Shostack, 1984), qui est un scénario de réalisation du PSS). Le second temps utilise des représentations systémiques du PSS pour les activités de développement détaillé, avec notamment des représentations de la structure du PSS, telles que IDEF0/SADT⁸ pour la modélisation fonctionnelle.

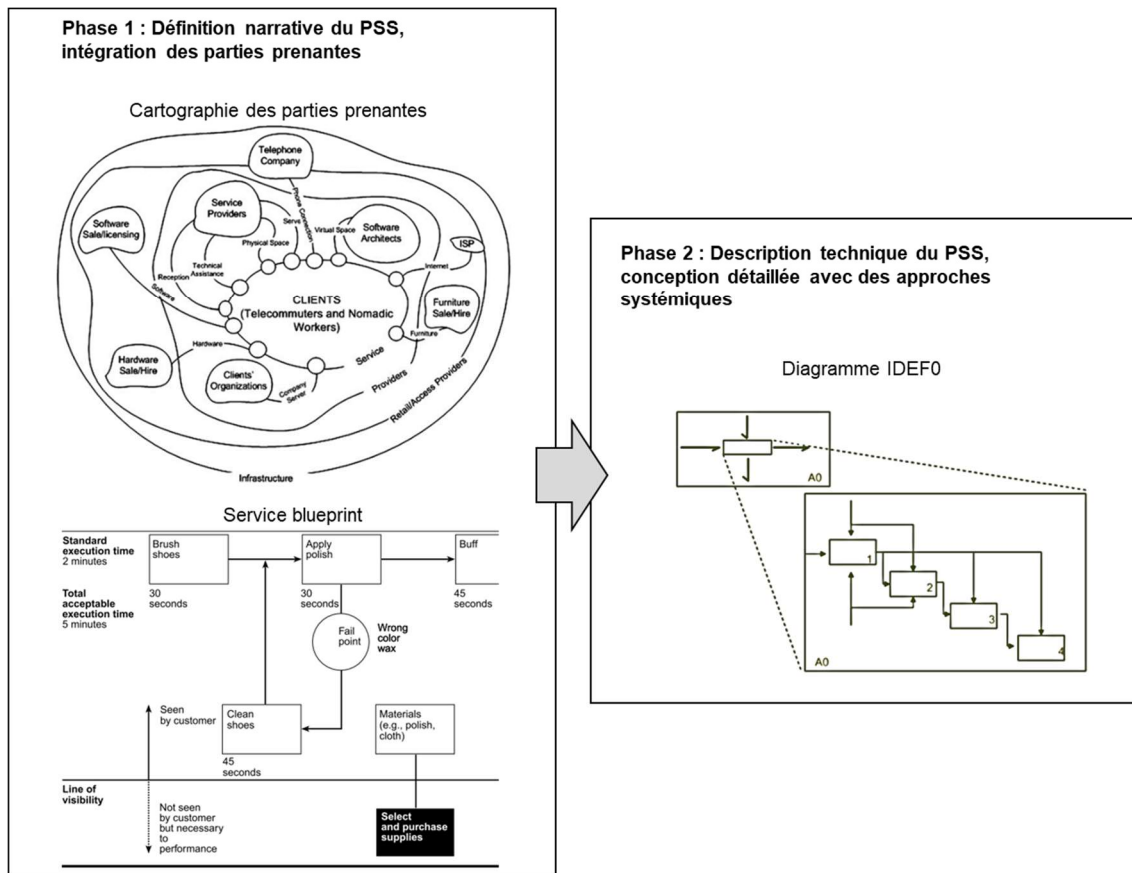


Figure 2-19 Méthode d'ingénierie de (Morelli, 2006)

Apports. Cette proposition s'adresse particulièrement à la phase amont du cycle de développement du PSS, en accompagnant les phases de conception préliminaire et s'ouvre à la conception détaillée à travers l'architecture du PSS (IDEF0). Elle permet d'aborder la complexité des PSS et de leurs usages possibles à travers des représentations graphiques et narratives. En ceci, elle répond aux enjeux d'intégration des parties prenantes grâce à leur cartographie et en utilisant des descriptions non expertes, les descriptions narratives. C'est donc une méthode pertinente pour les premières phases de conception d'un processus de type cycle en V.

Limites. La méthode proposée s'intéresse principalement au début de la conception du PSS et requiert des approfondissements pour la conception détaillée du PSS, l'équivalent de la phase 2. Notamment, elle doit être précisée pour définir comment se fait la distinction entre produits et services, comment intégrer les infrastructures dans la conception des PSS et comment la dynamique introduite aux hauts niveaux du PSS se décline dans les niveaux de décomposition inférieurs. D'autres méthodes sont requises pour préciser la conception technique équivalente à cette phase 2 et la suite du cycle de vie du PSS.

⁸ *Icam DEFinition for Function Modeling et Structured Analysis and Design Technique*

2.3.2.1. *Functional Product Development*

La distinction entre produits et infrastructures de service est abordée à travers la méthode de *Functional Product Development* (Alonso-Rasgado et al., 2004). Un *functional product* est un système combinant des solutions *hardware* et *software*. Ce sont majoritairement des produits mécaniques assortis d'un système support de service (*Service Support System*, ici agrégé en 3S). Le 3S assure toutes les actions nécessaires à la satisfaction de fonctions proposées à l'utilisateur qui ne sont pas entièrement supportées par le produit. Le 3S supporte par exemple la maintenance, la prise de décisions, la planification d'opérations, le *re-manufacturing* ou l'apprentissage lié au produit. Ce concept combinant le produit et le 3S se rapproche donc de la définition du PSS adoptée. Le 3S désigne ainsi les infrastructures de service.

Dans ce paradigme, le 3S est développé en parallèle du produit. Son développement se décompose en 5 étapes depuis la description des besoins à la livraison de sous-systèmes de service composant le 3S, la validation et l'implémentation. Les 3S réalisent des services appartenant à l'une des 4 catégories suivantes : 1) la planification d'opérations, 2) la maintenance du produit et remanufacture, 3) le stockage des données et prise de décision et 4) la réalisation du service. Ainsi, (Alonso-Rasgado et al., 2004) mettent en évidence la nécessité de disposer de sous-systèmes de service ne participant pas directement à la satisfaction du besoin du client, mais qui viennent supporter le produit pour qu'il puisse fournir ses fonctionnalités. Ainsi, la méthode consiste à développer le produit et l'infrastructure support à son bon fonctionnement, à travers des spécifications fonctionnelles et temporelles, tel que présenté en Figure 2-20.

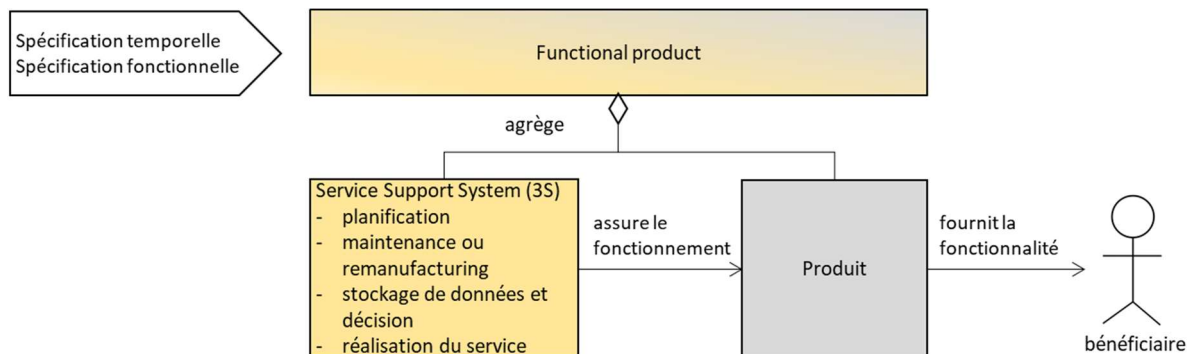


Figure 2-20 Abstraction de la méthode de *Functional Product Development* d'après (Alonso-Rasgado et al., 2004)

Les auteurs proposent de spécifier le *functional product* à travers des représentations issues du « *blueprint* » selon (Shostack, 1984). Ils mettent en œuvre des diagrammes de types « diagrammes de flux », qui présentent les échanges fonctionnels entre les sous-systèmes, issues du SADT, afin de concevoir le *functional product*. Ils proposent également des diagrammes qui décrivent les états du système et l'évolution temporelle, semblables aux diagrammes d'état du standard SysML afin de tester le *functional product* dans une démarche de validation.

Apports. Cette démarche, orientée services d'entretien et de réparation, contribue à la spécification des infrastructures de service. Elle permet d'intégrer les infrastructures support comme des composants en ressource de la réalisation services. De plus, elle propose d'utiliser le SADT pour les représentations fonctionnelles ainsi que le *blueprint* pour la dimension comportementale du service, contribuant au critère concernant de la dynamique des PSS.

Limites. Cette méthode situe le 3S comme les sous-systèmes supportant la réalisation des services. Elle ne modélise pas le rôle que peut avoir un sous-système de produit dans la réalisation d'un service, en complément du 3S. Or, dans le cas des PSS automobile, le véhicule peut-être un acteur du service et interagir avec les systèmes de type service. Il est nécessaire de définir comment le produit peut être utilisé pour délivrer une fonctionnalité de service.

De plus, elle n'aborde pas le service dans une vue abstraite, mais se consacre directement aux infrastructures de support des services : elle gère en réalité des produits et des infrastructures. Nous explorons donc dans la suite comment rationaliser les services dans le développement de PSS, tout en conservant le concept d'infrastructures.

2.3.2.2. Requirement Data Model (RDMod)

(Berkovich et al., 2012) contribuent à définir la conception détaillée tout en proposant une distinction entre produits et services et en intégrant les infrastructures dans leur méthode.

Ils présentent un modèle de donnée et une méthode d'ingénierie des exigences pour les PSS. Dans cette méthode, les auteurs proposent une approche descendante des exigences jusqu'aux composants de PSS (voir Figure 2-21). Chaque niveau correspond à un degré de décomposition dans la représentation du PSS et des exigences sont décrites à chacun de ces niveaux. Le niveau *Goal* concerne les besoins des bénéficiaires du PSS et des parties prenantes. Le niveau *System* concerne l'énoncé du besoin du système de manière agnostique à la solution, c'est-à-dire sans la connaître. Les exigences définies au niveau *System* concrétisent les objectifs définis au niveau *Goal*. Le niveau *Feature* détermine la distinction entre les parties tangibles (produits) et intangibles (services) de la solution. C'est à ce niveau qu'a lieu le « *System Design* » qui permet de passer des exigences du niveau *System* aux exigences de niveau *Feature*. Puis, après le « *Function Structure Design* », le niveau *Function* a pour but de détailler les exigences du niveau *Feature* de manière à pouvoir les assigner à des composants du système. Le « *Preliminary Design* » renvoie ensuite au niveau *Component*, où chaque exigence est associée à un composant du système.

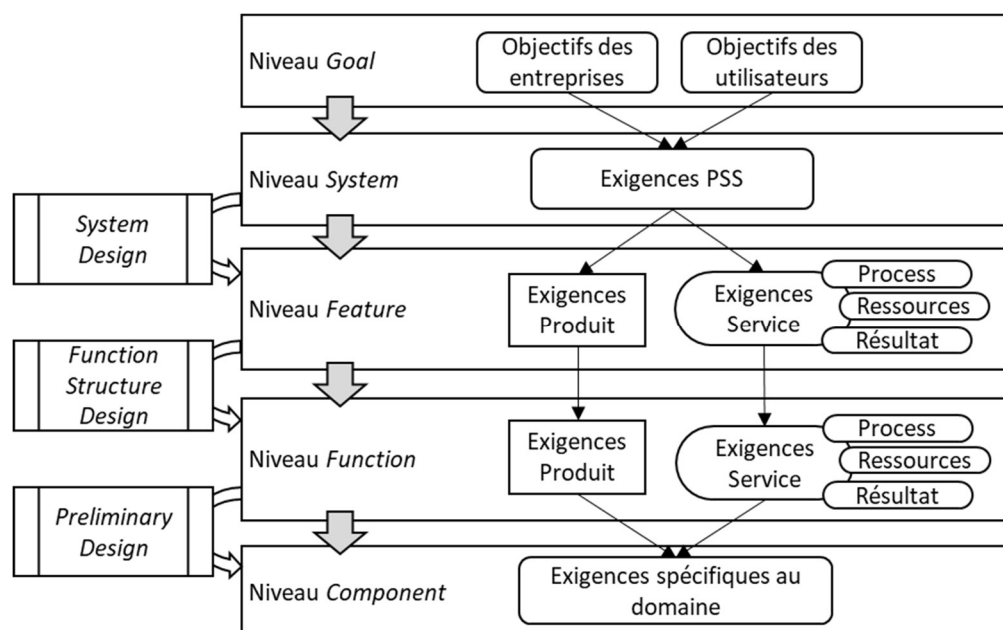


Figure 2-21 Synthèse de la méthode d'ingénierie d'exigence des PSS RDMod adapté de (Berkovich et al., 2012)

À travers ces différents niveaux, chaque exigence d'un niveau est liée à une ou plusieurs exigences du niveau inférieur. Les auteurs déclinent des exigences globales du PSS en exigences relatives aux produits et en exigences relatives au service. Les exigences de service sont réparties en trois catégories :

- Exigences de process [de service], relatives au scénario de réalisation d'un service,
- Exigences de ressources, relatives aux ressources humaines, physiques ou informationnelles utilisées dans la réalisation d'un service et donc aux infrastructures
- Exigences de résultat, caractérisant le résultat attendu du service concerné.

Une taxonomie pour chacune de ces catégories est proposée, déclinant ces exigences selon leur nature (voir ANNEXE 1). Elles détaillent les catégories d'exigences en sous catégories et intègrent les spécificités des PSS, notamment via les exigences de service.

Apports. Cette méthode permet de décomposer un PSS en différents niveaux de détails et structure la décomposition en produits et services. L'utilisation des exigences de services spécifiques aux process de service permet de spécifier les comportements attendus des PSS. Les exigences de ressource, elles, permettent de spécifier la manière dont le PSS a recours à des systèmes d'infrastructure et de spécifier les capacités des infrastructures. Cette contribution répond partiellement aux critères de dynamique des PSS et des infrastructures de service. Au niveau composant les exigences sont allouées à des domaines d'ingénierie spécifique, supportant par ce biais l'intégration des parties prenantes. De plus, la description du PSS en exigences à ses différents niveaux qualifie chaque élément de ces systèmes dans une vue fonctionnelle. Enfin, la taxonomie des exigences permet de caractériser des exigences propres aux services et couvre un ensemble de spécification approprié aux PSS automobiles, telles que celles concernant l'échange d'informations ou l'utilisation de ressources humaines dans la réalisation du service.

Limites. Cette méthode aborde la définition des exigences du PSS. Elle représente les spécifications auxquelles répondent les PSS, produits et services, mais ne présente pas d'autres formalisations du PSS supportant son développement. Ces exigences doivent être rattachées à des modélisations de PSS présentant explicitement les éléments qui les composent, telles que l'architecture fonctionnelle et structurelle. Il est nécessaire de déterminer des modèles auxquels ces exigences sont rattachées et comment elles y sont rattachées.

Parmi les différentes contributions abordées, nous avons pu déterminer que les produits et les services peuvent être considérés comme des composants du PSS. Comme présenté en contexte, les produits et services d'un PSS sont déclinés en plusieurs variantes. Dans la suite, nous étudions comment est géré la diversité des produits et services dans les méthodes et outils de développement de PSS.

2.3.2.3. Gestion de la diversité des PSS en conception

Plusieurs contributions de méthodes pour la gestion de la diversité des PSS pour les phases de conception sont étudiées dans l'état de l'art. La gestion de diversité met en œuvre des concepts de diversité spécifiques. Dans un premier temps, nous définissons les concepts généraux de la gestion de diversité, avant de présenter les contributions particulières pour la diversité des PSS.

Éléments de définition et concepts clés de la gestion de la diversité

La diversité des produits, appelée « *product variety* » en anglais, s'intéresse à la gestion des différentes variantes d'un produit. La variété est définie par (ElMaraghy et al., 2013) comme suit: “*variety or assortment is defined as a number or collection of different things of a particular class of the same general kind*”. Elle se décrit à travers des « variantes » qui sont définies comme les instances d'une classe qui présentent de légères différences par rapport au type ou à la norme commune. Une combinaison donnée des variantes d'un système est appelée « configuration ». Une configuration implique un ensemble d'entités combinées de manière structurées selon (JC. Aurich et al., 2009). Les contributions relatives à la gestion de la diversité se trouvent aussi associées à la gestion de configuration.

Un exemple de gestion de diversité de produit est donné par le côté de conduite d'un véhicule, qui implique qu'un véhicule vendu mondialement aura au moins deux configurations selon les pays de commercialisation et le côté de conduite : le poste de conduite comporte deux variantes, une « à gauche » et une « à droite ».

Cette diversité peut être issue de plusieurs facteurs : la personnalisation du produit, qui implique de créer des variantes pour satisfaire les choix des clients (Daaboul et al., 2011), la multitude des fournisseurs ou lieux de production du produit et de ses composants, l'adaptation du produit à des nécessités législatives ou fonctionnelles selon le marché de commercialisation ou encore les différentes évolutions du produit au cours de sa vie commerciale. Enfin, la gestion de diversité a lieu entre différents modèles de produits pour mettre en commun des composants, afin de réduire les temps de conception ou le coût de fabrication et de logistique. Cependant, une diversité de produit mal maîtrisée peut être coûteuse (ElMaraghy et al., 2013) tant en coût de flux physiques (fabrication et acheminement des produits) qu'en charge et complexité d'ingénierie (Schuh et al., 2017). Les constructeurs ont adopté des démarches de gestion de diversité à tous les niveaux de décomposition du produit pour gérer ces enjeux. Un véhicule est ainsi composé de composants ou sous-systèmes qui peuvent être utilisés pour d'autres véhicules, tels que la motorisation, les rétroviseurs, les systèmes de freinage ou encore le châssis. La modularité des PSS permet ainsi de proposer une offre personnalisée tout en minimisant la complexité issue de la diversité, mais elle reste peu abordée dans la littérature scientifique notamment lorsque le système est considéré comme composé de solutions de produits et de services (Ezzat et al., 2019).

La diversité se décrit aussi bien pour les systèmes de nature produit que de nature service (JC. Aurich et al., 2009; ElMaraghy et al., 2013). Dans le cas où produits et services sont en dualité dans un PSS, la question de la gestion de la diversité doit être appliquée au niveau des produits, des services et aussi de leurs interactions. La littérature scientifique propose des méthodes pour la gestion de diversité des PSS et leur configuration.

Concept de « *feature* » pour la diversité des PSS

(Schuh et al., 2017) proposent de décrire la diversité des PSS à travers les concepts de *feature*, que nous entendons au sens français de caractéristique. Un PSS est alors décrit comme la combinaison de plusieurs *features*, qui peuvent être de nature produit ou service. Chacun de ces *features* possède plusieurs variantes (ici appelées *feature attributes*). Une configuration de PSS est alors une des multiples combinaisons entre les différentes variantes des *features* composant le PSS. La Figure 2-22 présente ces concepts et illustre comment sont construites les configurations d'un PSS (les *product*

service configuration). Ainsi, les configurations possibles sont chacune des combinaisons possibles entre différentes variantes de produit (*product feature*) et de service (*service feature*).

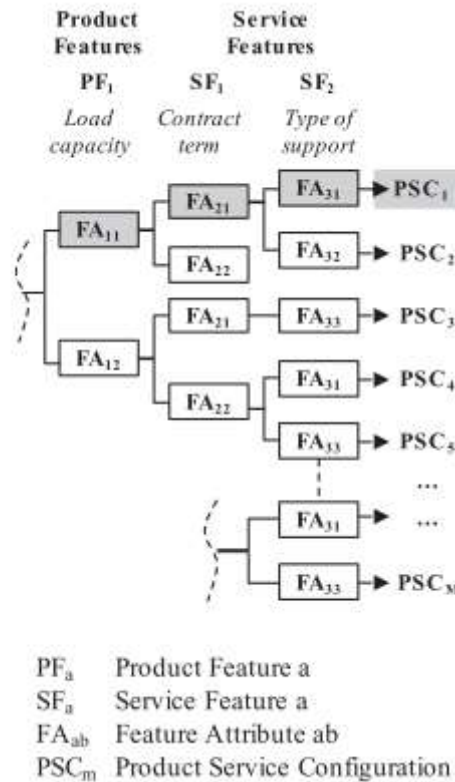


Figure 2-22 Le *hierarchical feature tree* représentant la configuration des PSS d'après (Schuh et al., 2017)

Apports. Cette méthode de gestion de configuration permet de décrire des variantes de produits et de services et de les associer pour former des configurations. Une configuration est une alternative de combinaison d'un ensemble de composants de produits et de services. Cette contribution qui définit les configurations comme l'association entre les variantes du système PSS contribue à la gestion de la diversité des produits et des services.

Limites. Cette méthode de gestion de diversité des PSS fournit un cadre théorique pour définir les configurations de PSS mais ne précise pas comment limiter le nombre de configurations lors de la conception. En effet, certaines associations de variantes du PSS ne seront jamais réalisées, par exemple la variante diesel d'un moteur de véhicule ne sera pas associée à un système de batteries de traction ou à un service de recharge de batterie lors du stationnement. Il est nécessaire de proposer une méthode permettant de décrire ces associations entre les différentes variantes.

De plus, le nombre de configurations d'un système croit fortement avec le nombre d'éléments et de variantes de ces éléments. Plus précisément, le nombre de configurations est égale au nombre de combinaisons possibles de chaque *feature* pour tous ses *feature attributes*. Le nombre de configurations peut être très élevé (environ 1 million de configurations pour 10 *features* avec 4 *attributes* chacun, soit 4^{10}). Un PSS automobile est plus complexe et possède plus de *features* et d'*attributes*. Il est nécessaire de maîtriser la diversité de façon à ce nombre de combinaisons, notamment en déterminant des dépendances et incompatibilités entre les variantes réduisant ainsi le nombre de configurations possibles.

Méthode de configuration des PSS

Afin de décrire les associations entre variantes lors de la conception des PSS, (JC. Aurich et al., 2009) proposent une méthode de modélisation de la configuration des PSS. La gestion de la diversité des PSS est structurée via la mise au point de configurations de PSS. La diversité du produit est exprimée en fonction de variantes (V_n) sous chaque composant du produit (Figure 2-23). Les configurations internes au produit (ne concernant pas les modules de service) sont décrites par un tableau croisant les différentes variantes de composants permettant d'identifier les combinaisons des composants entre eux, c'est-à-dire les combinaisons de variantes compatibles (Figure 2-25(a)). Dans la matrice, le chiffre « 1 » signifie une association possible entre les variantes des composants, le chiffre « 0 » signifie une incompatibilité ou le choix de ne pas les associer.

De la même manière, un service, qui est décrit par des modules de type « *result* », « *process* » ou « *ressource* », est décliné en plusieurs variantes (voir Figure 2-24). Une matrice de combinaison des services (voir Figure 2-25(b)) permet de décrire les combinaisons des variantes de modules de service, de manière similaire aux produits. De la même manière, une matrice de combinaison produit-service permet d'associer des variantes de produits et de services entre elles (voir Figure 2-25(c)).

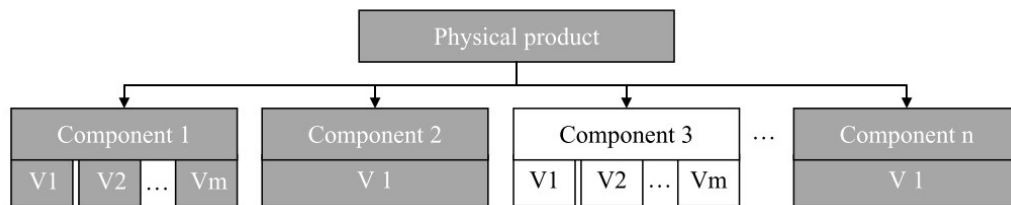


Figure 2-23 Description de la diversité du produit à travers des variantes (JC. Aurich et al., 2009)

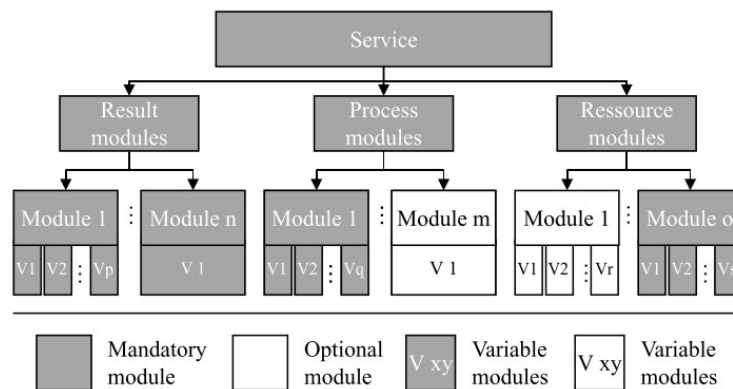


Figure 2-24 Description de la diversité du service à travers des variantes (JC. Aurich et al., 2009)

		Produit								
		Composant			Composant			Composant		
Produit	Composant	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.
		Var.	x	x	x	0	1	1	1	0	0
	Var.	x	x	x	1	0	0	0	1	1
	Var.	x	x	x	1	0	0	0	1	0
	Var.	0	1	0				0	1	1
	Var.	1	0	1				1	0	1
	Var.	1	0	0	x	x	x	1	0	0
	Var.	1	0	1	0	1	1	x	x	x
	Var.	0	1	0	1	0	0	x	x	x
	Var.	0	1	1	1	1	0	x	x	x

		Service								
		Module			Module			Module		
Service	Module	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.
		Var.	x	x	x	0	1	1	1	0	0
	Var.	x	x	x	1	0	0	0	1	1
	Var.	x	x	x	1	0	0	0	1	0
	Var.	0	1	0	x	x	x	0	1	1
	Var.	1	0	1				1	0	1
	Var.	1	0	0	x	x	x	1	0	0
	Var.	1	0	1	0	1	1	x	x	x
	Var.	0	1	0	1	0	0	x	x	x
	Var.	0	1	1	1	1	0	x	x	x

		Produit								
		Composant			Composant			Composant		
Service	Module	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.
		Var.	x	x	x	0	1	1	1	0
	Var.	x	x	x	1	0	0	0	1	1
	Var.	x	x	x	1	0	0	0	1	0
	Var.	0	1	0	x	x	x	0	1	1
	Var.	1	0	1				1	0	1
	Var.	1	0	0	x	x	x	1	0	0
	Var.	1	0	1	0	1	1	x	x	x
	Var.	0	1	0	1	0	0	x	x	x
	Var.	0	1	1	1	1	0	x	x	x

Figure 2-25 Matrice de combinaison des composants produit (a), des modules de service (b) et des produit-service (c) (adapté de Aurich et al. 2009).

Cette méthode d'association de diversité permet de décrire trois types de combinatoires de variantes :

- (a) Les variantes de produits et la compatibilité des composants produits entre eux ;
- (b) Les variantes de service et la compatibilité des modules de service entre eux ;
- (c) La combinaison entre les variantes de produit et de service.

En addition à ces matrices de combinaison, la proposition permet de configurer le produit en fonction des paramètres d'usage, nommées « caractéristiques ». En effet, le cycle de vie du produit porte différentes caractéristiques, qui sont des paramètres d'usage réel. Les variantes de services sont utilisées en fonction de ces caractéristiques. De plus, la proposition des auteurs permet de relier des variantes de produit à des besoins issus du contexte du système lors de son usage. Dans leur contribution, ces besoins sont traduits par des « caractéristiques » associées à des phases de cycles de vie « PLC-phase ». La Figure 2-26 illustre cette applicabilité, en liant par exemple des dimensions observées via la caractéristique C1 en PLC-Phase 1 à des variantes du composants *Component 1*.

		PLC-Phase 1				PLC-Phase 2				...	PLC-Phase n			
		C1	C2	...	Cn	C1	C2	...	Co	...	C1	C2	...	Cp
Component 1	V1	100-200	.....	.....	.....	green, red, yellow	good-sadif.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	10-20%
	V2	150-250	.....	.....	.....	green	very good-sadif.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	20-40%

	Vm	200-300	.....	.....	.....	green	good-sufficient	.....	.....	.....	.....	.....	.....	10-20% 50-60%
Component 2	V1	.....	0,6-1,4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	outside	.....	.....
	V2	.....	1,4-2,0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	inside	.....	.....

	Vm	.....	0,6-2,0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	outside, inside	.....	.....
Component n	V 1	.....	0,7-1,3	.....	2	.....	.....	.....	100.000-110.000	.....	english, french	.....	.....	0-20%
	V 2	.....	1,4-1,9	.....	4	.....	.....	.....	150.000-165.000	.....	english, french	.....	.....	0-50%

	Vm	.....	0,1-10,0	.....	5	.....	.....	.....	200.000-220.000	.....	english, spanish	.....	.....	0-90%

Figure 2-26 Applicabilité des composants produit aux caractéristiques PSS (JC. Aurich et al., 2009)

Apports. La contribution prend en charge la diversité des produits et services et la combinaison produit-service. En addition, l'applicabilité des composants de produit aux caractéristiques du PSS est transposable aux modules de service. Cela permettrait de spécifier les variantes de service à mettre en œuvre en fonction des caractéristiques d'usage du PSS. Il est possible lors de la conception d'un PSS d'associer certaines variantes de service en fonction de l'opération réelle du PSS, par exemple dans le cas de la maintenance conditionnelle d'un véhicule, en observant les paramètres d'usure. Les différentes variantes de service de maintenance seraient alors associées à des paramètres d'usure du véhicule.

Limites. Cette proposition ne résout pas la difficulté de décrire les différentes configurations pour un système avec un grand nombre de composants, possédant chacun plusieurs variantes. Il est nécessaire de mettre en place des méthodes et outils permettant d'assister la gestion de la diversité des PSS.

Les matrices de combinaison ne permettent pas décrire les critères qui ont provoqué l'émergence de variantes. En d'autres termes, elles ne définissent pas la caractéristique de diversité d'une variante isolée, mais uniquement la relation entre différentes variantes au sein d'une configuration. Or, il semble pertinent de pouvoir identifier dans un référentiel commun les caractéristiques qui impliquent la création de variante. Il est nécessaire de définir ces variantes en les caractérisant à travers des critères les définissant.

2.3.2.4. Gestion des données d'usage du PSS

Les données relatives aux PSS pendant leur phase d'usage peuvent prendre une importance majeure, d'une part parce qu'elles sont potentiellement nécessaires à la réalisation du process de service, d'autre part parce qu'elles permettent au fournisseur du PSS de réunir des informations précises et détaillées des étapes de mise à disposition, d'usage ou de fin de vie du PSS. Dans un premier temps au sujet des dispositifs électroniques, (Scheidt et al., 1994) identifient deux types de données :

Les données statiques qui n'évoluent pas au cours de l'usage du PSS et sont relatives par exemple à la spécification du produit, de ses composants ou des paramètres de configurations dont il dépend. C'est le cas de la documentation de réparation des véhicules, qui sont figés avec la définition technique du véhicule, mais qui dépendent fortement des paramètres de configuration du véhicule (par exemple, si le véhicule est fourni en motorisation essence ou diesel).

Les données dynamiques qui sont documentées et évoluent avec la vie du PSS. Ces données sont par exemple l'état de fonctionnement, la consommation énergétique, la position d'un PSS. Elles doivent être capturées pendant l'utilisation du PSS et valorisées par l'entreprise les mettant en jeu. C'est le cas des données d'usage du véhicule recueillies dans les services d'assurance « *pay as you drive* » dans lesquels le client paye en fonction de la sollicitation du véhicule mesurée à l'aide des données d'usage.

(Yang et al., 2009a) proposent un cadre de gestion des données dynamiques des PSS présenté en Figure 2-27. Il est basé sur le concept de « *service enabler* » défini comme un système de gestion d'information et/ou un système expert capable de recevoir des données issues du cycle de vie du produit et de les utiliser pour faciliter la création et livraison de services liés au produit pendant son cycle de vie. Le produit physique produit des informations qui parviennent au *service enabler* via l'infrastructure support de communication. Le *service enabler* est un élément d'infrastructure recueillant et traitant des données en provenance du PSS, avec des fonctions d'interfaçage, de stockage et de traitement de données, mais aussi de gestion de connaissances. Le *service enabler* produit un *service content* qui est

utilisé par des services. Il implique la nécessité de spécifier le PSS pour qu'il mette à disposition des données, donc de définir l'usage des données comme un besoin dans le développement du PSS.

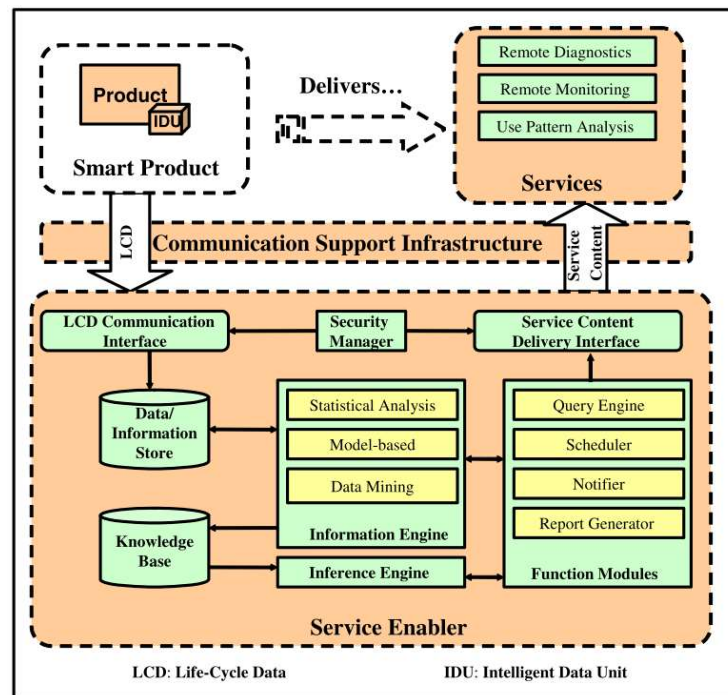








Figure 2-27 Cadre de gestion des données de PSS d'après (Yang et al., 2009a)

Apports. Le concept de *service enabler* est une contribution pertinente en réponse à la problématique car il pose un cadre pour la gestion et le traitement des données. Il est résumable à un système situé entre le produit et d'autres services tirant partie des données d'usage, remplissant une fonction de stockage et traitement de données. La contribution permet de dresser une typologie de fonctions nécessaires à la gestion des données d'usage : interfaçage, stockage, traitement des données et gestion des connaissances créées par ces données. Dans le développement d'un PSS concerné par les données d'usage, les sous-systèmes de *service enabler* devront répondre à ces fonctions.

Limites. La contribution de (Yang et al., 2009a) ne concerne que la remontée d'un flux de données depuis le PSS vers les systèmes d'informations d'entreprise. La méthode proposée ne permet pas d'utiliser les données dans la réalisation des services. Par exemple, d'importer un profil utilisateur à bord d'un véhicule ou encore de gérer des mises à jour des logiciels embarqués dans le véhicule.

2.3.2.5. Méthodes et outils : synthèse intermédiaire

À travers les critères d'analyse et leur déclinaison en points d'attention, il est possible de clarifier quelles méthodes contribuent à répondre à la problématique. Les différentes contributions sont présentées dans le Tableau 2-7.

Critère d'analyse	« Les méthodes et outils doivent permettre de... »	Contributions des méthodes et outils d'ingénierie des PSS
	Développer le PSS comme un système cohérent possédant son cycle de vie, spécifier les produits et les services qui composent le PSS de manière différenciée.	Apports : (1) Les premières phases de conception du PSS sont communes, ce qui permet de considérer le PSS dans son ensemble sans présumer de la solution (Wang et al., 2011b). Suite à une architecture fonctionnelle, une allocation fonctionnelle permet de décliner le PSS en solutions de produits et de services (Müller et al., 2007). (2) Les infrastructures support sont associées aux services via la notion de ressource dans le RMod (Berkovich et al., 2012). Limites : Il est nécessaire de définir la distinction entre produits et services.
	Décomposer le PSS en plusieurs niveaux de définition	Apports : Le PSS est décomposable en sous-systèmes de nature PSS, jusqu'à la phase d'allocation qui décompose des sous-systèmes de PSS en composants de produit ou de service (Berkovich et al., 2012; Müller et al., 2007; Wang et al., 2011b). Limites : La décomposition du PSS se traduit à travers les modélisations de PSS.
	Décrire différentes variantes de produits et services ainsi que leurs associations	Apports : (1) Pour structurer la diversité des produits et services, ces éléments sont déclinés en plusieurs variantes. Des matrices de compatibilité permettent de définir comment s'associent ces variantes, selon des contraintes techniques ou des choix d'offres (Aurich et al., 2009). (2) Pour spécifier des variantes de PSS en fonction de paramètres d'usage du PSS, (Aurich et al., 2009) mettent en œuvre une matrice d'applicabilité. Limites : Il est nécessaire de décrire la diversité des variantes à travers une caractérisation des variantes issues d'un référentiel commun plutôt que via des associations entre variantes.
	Maîtriser les aspects comportementaux des PSS, y compris la capacité de les configurer lors de leur réalisation selon les paramètres d'usage	Apports : (1) La dynamique des PSS est intégrée en début de conception à travers la formalisation de modélisations comportementales (Alonso-Rasgado et al., 2004). (2) En lien avec la gestion de la diversité, la matrice d'applicabilité aux caractéristiques du PSS permet de définir une applicabilité en fonction de certains états du PSS et de le configurer « à la volée » (JC. Aurich et al., 2009). Limites : Il est nécessaire de détailler les vues comportementales aux différents niveaux du PSS
	Développer les infrastructures comme des sous-systèmes du PSS et permettre l'utilisation des infrastructures existantes	Apports : (1) Les infrastructures de service sont attachées aux services par la notion de ressources. La taxonomie d'exigences définit les différents types de ressources pour qualifier les infrastructures (Berkovich et al., 2012). (2) Les vues comportementales sont pertinentes pour modéliser la manière dont les infrastructures sont exploitées dans le PSS (Alonso-Rasgado et al., 2004). Limites : les infrastructures devront être modélisées dans les architectures du PSS et le lien avec le service doit être précisé.
	Recueillir les besoins des différentes parties prenantes et intégrer les parties prenantes dans le développement des PSS	Apports : (1) Les parties prenantes du cycle de vie du PSS sont prises en compte dès le début de la conception du PSS avec des représentations narratives du PSS (Morelli, 2006). (2) Leurs besoins et leurs rôles dans les phases de vie du PSS sont intégrés à la conception via les exigences (Berkovich et al., 2012). L'utilisation des exigences en niveau haut de PSS permet de formaliser les besoins des parties prenantes et de les induire aux niveaux de décomposition suivants, ainsi que de structurer leur validation en fin de développement.


	Définir les données récoltées et comment elles sont échangées, structurées, stockées et traitées.	Apports : (1) Les services traitant des données d'usage sont des éléments décrits dans les vues fonctionnelles du PSS mis en œuvre en tant que sous-systèmes du service. Les représentations comportementales permettent de les spécifier. (2) Ils sont de 4 types : interfaçage, stockage, traitement des données et gestion des connaissances (Yang et al., 2009b). Limites : les données d'usage de PSS sont faiblement traitées dans la discipline d' <i>Engineering Design</i> .
---	---	--

Tableau 2-7 Apports des méthodes et outils de développement de PSS en regard des critères d'analyse

Au niveau des méthodes et outils, les contributions de l'état de l'art s'adressent à chacun des critères d'analyse que nous avons définis.

Afin de traiter la problématique, la modélisation des PSS est sollicitée pour développer des représentations communes s'inscrivant en cohérence des apports retenus des méthodes d'ingénierie et répondant potentiellement aux manques. Pour assurer cette cohérence, les orientations pertinentes pour répondre à la problématique au niveau des processus, méthodes et outils doivent être appliquées dans la modélisation des PSS.

2.4. La modélisation des PSS

La partie qui suit présente les contributions de la littérature relatives à la modélisation des PSS contribuant à répondre à la problématique. Elle correspond au troisième niveau de notre cadre méthodologique rappelé en Figure 3-32.

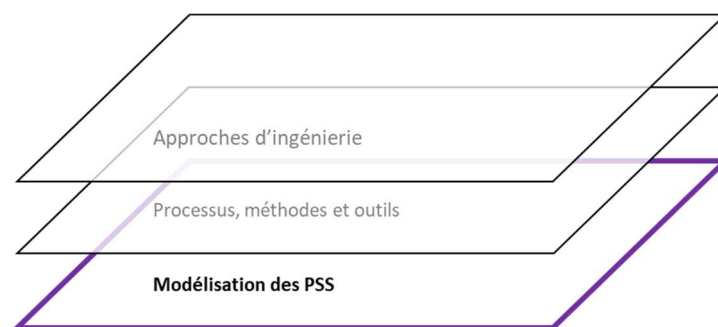


Figure 2-28 État de l'art au niveau de la modélisation des PSS

2.4.1. Éléments de définition pour la modélisation des PSS

Afin de préciser le rôle que prennent les modèles dans ces travaux, nous les définissons plus en détail dans la partie qui suit et nous présentons comment les critères d'analyse se traduisent au niveau des modèles.

Développer des PSS consiste à faire évoluer des représentations des PSS tout au long de leur cycle de vie. Selon Varenne, un modèle est « ce à quoi on se rapporte pour représenter » et englobe l'ensemble des représentations contenant des informations relatives à l'objet d'étude (Varenne, 2008). Dans une démarche de conception, les modèles sont donc des entités nécessaires à la conceptualisation de tout objet du monde réel qu'une personne souhaite étudier, que cet objet soit matériel ou immatériel.

Du besoin à la solution mise en œuvre, le PSS est d'abord représenté par une abstraction du produit qui sera fabriqué ou du service qui sera réalisé. Dans cette thématique, nous nous intéressons à

ces abstractions que les équipes de développement utilisent. Nous les nommons « modélisation des PSS ». Ces modélisations peuvent prendre plusieurs formes. Il s'agit par exemple d'un modèle de données, d'une maquette numérique en trois dimensions, d'un tableau de données ou d'un fichier textuel (INCOSE, 2015). La Figure 2-29 présente les différentes formes de modèles utilisés en ingénierie système. Parmi les modèles abstraits, les modèles formels suivent une structuration claire, définie et partagée, tandis que les modèles informels portent des informations relatives à l'objet modélisé mais ne suivent pas de formalisation préalablement définie.

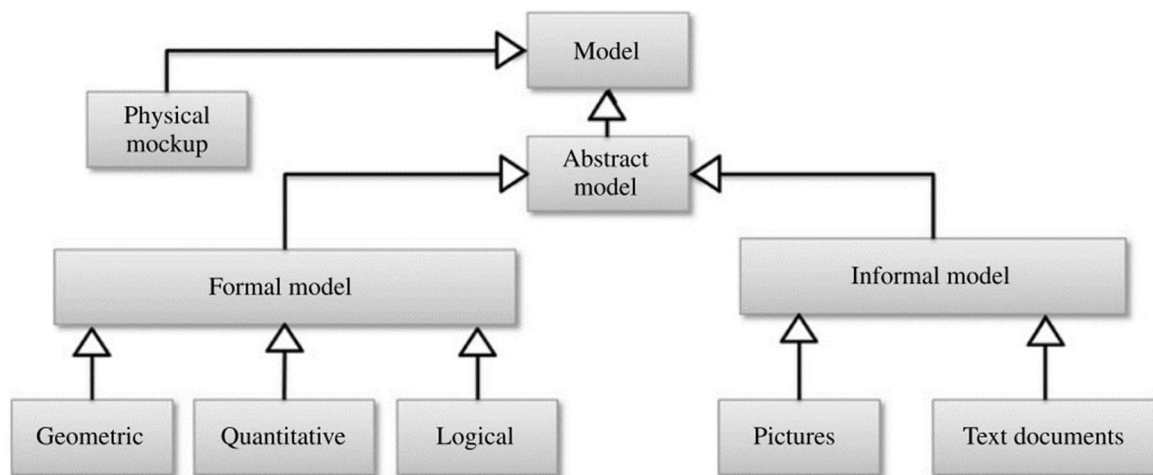


Figure 2-29 Taxonomie des modèles selon (INCOSE, 2015)

Pour définir un modèle d'un objet, il s'agit d'extraire de cet objet les propriétés et caractéristiques utiles l'étude qu'on souhaite réaliser. La modélisation des PSS dans ce travail doit donc représenter les aspects du PSS utiles à son développement et à sa gestion sur son cycle de vie. En pratique, un système est représenté par plusieurs modèles, selon les acteurs et les phases de développement en œuvre. Ces modèles utilisent un ensemble de concepts qui peuvent être partagés entre les parties prenantes et qui sont exprimés dans des langages donnés.

Dans une démarche où le produit et le service sont deux objets différenciés avec leurs propres cycles de vie, modéliser un PSS revient à modéliser ses composants de produit, de service et l'interaction entre ses parties. Les contributions de la littérature présentées dans cette thématique s'inscrivent dans cette démarche.

Afin de qualifier comment les différents modèles de la littérature répondent à la problématique, les critères d'analyse sont déclinés en points d'attention relatifs aux modèles de PSS. Cette déclinaison est présentée dans le Tableau 2-8.








Critère		Points d'attention relatifs aux modèles de PSS « Les modèles doivent permettre de... »
	Cycle de vie	Proposer une modélisation centrée sur les concepts de produit et le service de manière à pouvoir les considérer individuellement et modéliser les interactions entre les produits et les services
	Niveaux de définition	Structurer la décomposition des éléments du système en sous-éléments
	Gestion de la diversité	Décrire la diversité associée au niveau des éléments du système et décrire les liens d'applicabilité et de configuration.
	Dynamique des PSS	Modéliser les aspects dynamiques des PSS
	Infrastructures	Définir comment les infrastructures sont modélisées dans le PSS
	Parties prenantes	Permettre le partage des représentations de PSS aux différentes parties prenantes du développement
	Données d'usage	Déterminer comment les données d'usage et leur utilisation sont modélisées

Tableau 2-8 Déclinaison des critères d'analyse en points d'attention pour les modèles de PSS

2.4.2. Les modèles de PSS de la littérature

Dans une approche PLM, la modélisation des produits est une composante essentielle. Elle prend forme à travers les modèles de données qui sont implémentés dans des systèmes d'information du type SGDT (ou PDM en anglais). De cette manière, les utilisateurs des solutions PDM partagent les représentations intermédiaires du produit conçu et les évolutions qui y sont apportées. Trois grandes typologies de modèles de produit sont souvent utilisées dans les solutions PDM (Bricogne, 2015) :

- Les représentations structurelles avec notamment les nomenclatures (*Bill-of-Material* - BoM), qui forment historiquement l'essentiel des modèles exploités dans les PDM ;
- Les représentations fonctionnelles représentant les rôles que doit remplir un produit et les parties le composant ;
- Les représentations comportementales qui décrivent la manière dont le système évolue dans le temps selon les conditions de son environnement.

Dans la même mesure, l'état de l'art sur les processus et méthodes montre une forte présence de ces trois types de représentations de PSS. De manière induite par les méthodes de développement, les modèles de PSS représentent les aspects fonctionnels, structurels ou comportementaux des PSS. Différents modèles issus des contributions scientifiques de la littérature sont présentés dans la suite. Ils proposent de modéliser les PSS en intégrant partiellement ou complètement ces trois types de représentations.

2.4.2.1. Les modélisations issues de l'Ingénierie Système

Dans le 4^{ème} *handbook* de l'INCOSE, plusieurs concepts définissent la modélisation des systèmes en ingénierie système, notamment les concepts d'architecture, par ailleurs rencontrés précédemment dans l'étude des processus et méthodes. Le standard ISO/IEC/IEEE 15288:2015 présente les

architectures comme un ensemble structuré d'entités et de leurs relations. Ces entités peuvent posséder des caractéristiques propres telles que leur masse, dimension, fiabilité, temps de fonctionnement, disponibilité, résistance aux environnements, etc. En parallèle de cette notion d'architecture, le standard présente plusieurs vues, composées de modèles, utilisées pour décrire les architectures d'un système. Les principales vues sont présentées comme suit :

- Les vues basées sur des modèles fonctionnels représentent l'ensemble des transformations d'entrées en sorties réalisées par le système pour réaliser sa mission. Ces fonctions détaillent l'objectif du système. Elles sont souvent issues de l'analyse des exigences fonctionnelles, non fonctionnelles, de performance ou de contrainte. Ces modèles fonctionnels sont définis dans le cas du fonctionnement nominal du système et selon des conditions d'usage normales et attendues.
- Les vues basées sur des modèles comportementaux décrivent la manière dont le système et ses composants réagissent aux sollicitations. Ils décrivent l'arrangement entre les fonctions et les interfaces dans la réalisation de différents scénarios, dans une logique séquentielle. Ils incluent des concepts spécifiquement comportementaux tels que les modes et états, les transitions entre états, les déclencheurs d'évènements, les scénarios opérationnels et exceptionnels, etc.
- Les vues basées sur des modèles structurels représentent l'arrangement des entités du système dans des sous-ensembles. Ces entités sont associées entre elles parce qu'elles partagent une ou plusieurs interfaces. Les liens de composition entre les entités sont issus de la hiérarchie entre les entités du système.
- D'autres vues et modèles permettent de décrire les entités d'un système et leurs interactions pour des besoins ou des disciplines spécifiques. Il y a par exemple les modèles temporels qui modélisent les temps d'opération d'un système, les modèles de masse qui représentent la répartition spatiale des masses du système, les modèles de *layout* qui présentent l'arrangement géographique de grands ensembles, les modèles de réseau pour représenter un ensemble de nœuds et de liens entre les entités échangeant énergie, objets ou informations et d'autres modèles encore.

Apports. Cette présentation des modèles employés dans les architectures des systèmes reprend les éléments de méthode de développement présentés au niveau des processus, méthodes et outils, tout en apportant des définitions communes et robustes applicables à tous les systèmes. La modélisation des PSS peut s'appuyer sur les architectures de système et les vues fonctionnelles, comportementales et structurelles.

Limites. Cette contribution ne spécifie pas la manière dont les différentes vues et modèles sont construits et les liens entre eux. Les architectures de système sont le cœur de processus de décisions majeures pour la définition du système (Ben Hamida et al., 2015) et il est nécessaire de mettre en cohérence l'ensemble des vues du système. Ces associations semblent dépendre du contexte dans lequel s'inscrit le développement des systèmes. À travers les contributions suivantes, plusieurs associations sont identifiées.

2.4.2.2. Modélisation des PSS par *Functional Bloc Diagram*

(Maussang et al., 2009) proposent de décrire les fonctions du PSS en utilisant le Diagramme de Blocs Fonctionnels (*Functional Bloc Diagram* - FBD). Dans cette modélisation, le PSS est décliné selon plusieurs scénarios. Un FBD est associé à un scénario, il y a donc autant de diagrammes fonctionnels que de scénarios. Dans cette représentation, les sous-systèmes du PSS sont de deux types : *physical object* ou *service unit* (voir Figure 2-30). Un *physical object* est défini comme une entité fonctionnelle portant les fonctions élémentaires du système. Un *service unit* est défini comme une entité utile au fonctionnement du système global. Ce diagramme représente ainsi la dimension de structure du PSS avec ses sous-systèmes de nature service ou produit, qui sont des blocs du diagramme. Il représente aussi la dimension fonctionnelle du PSS. Les fonctions remplies par le PSS sont représentées par les boucles IF (*Interaction Fonction*) pour la fonction principale du PSS et DB (*Design Buckles*) qui représentent des fonctions techniques, internes au PSS, concernant plusieurs sous-systèmes en interaction.

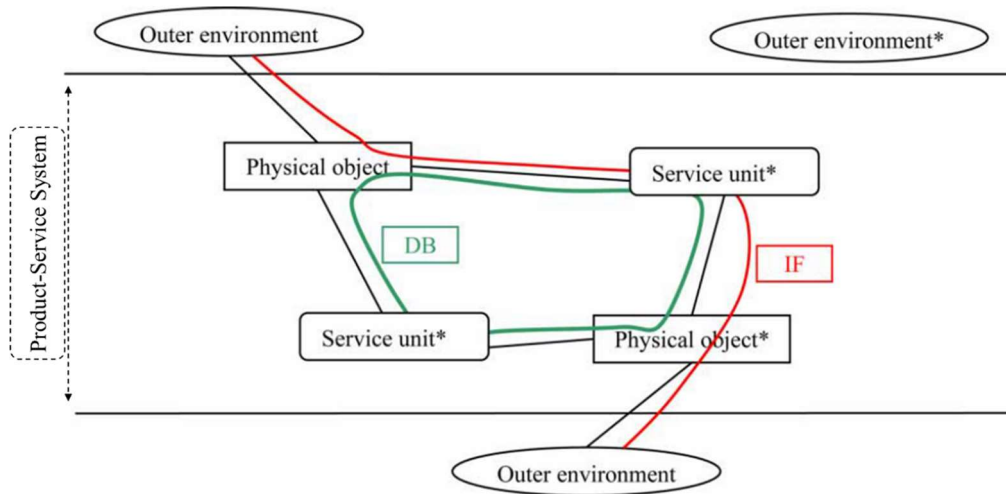


Figure 2-30 Le Diagramme de Bloc Fonctionnel pour le développement du PSS (Maussang et al., 2009)

Apports. La description en diagramme de blocs fonctionnels considère le PSS constitué de composants produit ou service. Elle permet de représenter les éléments fonctionnels et leurs liens selon plusieurs scénarios. De plus, elle représente le système en sous-systèmes de nature produit ou service et permet donc de gérer des composants de produits et de service indépendamment sur leurs cycles de vie.

Limites. La représentation FBD ne couvre pas les aspects dynamiques du PSS. De plus, c'est une démarche graphique qui convient pour des systèmes à faibles complexité mais qui devient très difficilement gérable pour des PSS à forte complexité tels que ceux rencontrés dans l'automobile, avec un grand nombre de sous-systèmes et de fonctions mis en œuvre. Il est nécessaire de la systématiser à travers des modèles logiques. Enfin, la relation des vues fonctionnelles avec les vues comportementales et structurelle doit être déterminée.

2.4.2.3. *Function, Behaviour, Structure – Product Process Resource External effect* (FBS-PPRE)

Le modèle de FBS considère les trois vues des systèmes dans une modélisation unifiée. (Gero, 1990; Gero et al., 2006; Umeda et al., 1990) proposent une modélisation robuste des objets de

conception (*design object*) par trois variables *Function*, *Behaviour*, *Structure* (FBS) pour décrire Ils définissent les concepts comme suit :

- Les variables de fonction décrivent la finalité de l'objet (sa téléologie) ;
- Les variables de comportement décrivent ce que fait l'objet et sont dérivées de sa structure ;
- Les variables de structure décrivent les composants de l'objet et leurs relations.

Ces variables correspondent aux vues déterminées précédemment. Elles sont liées par le processus de conception qui tisse des connections entre les différents éléments FBS. Gero décrit ces relations dans la Figure 2-31, dans laquelle le *behaviour* est décliné en *expected behaviour* et *behaviour derived from the structure*, ce qui reflète l'écart entre le comportement attendu d'un système et le comportement effectif qui doit être évalué. Dans des travaux plus récents, (Gero et al., 2006) intègrent le concept d'exigences. Elles s'appliquent à la fois aux variables de fonction F, de comportements attendus Be et de structure S.

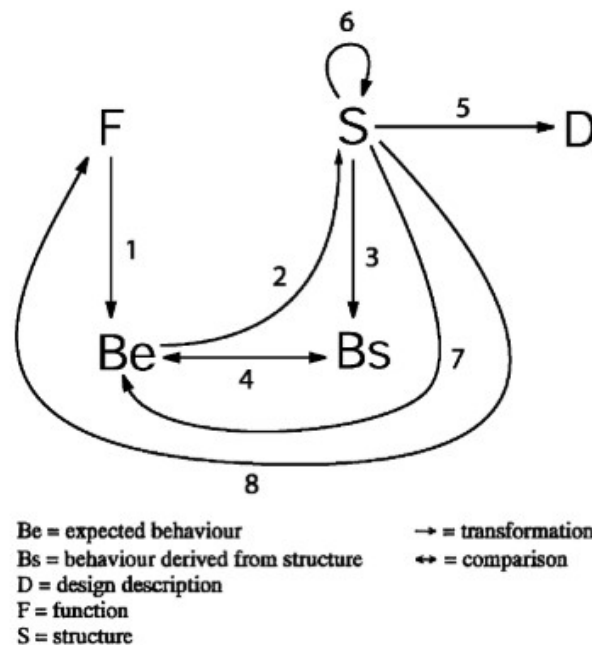


Figure 2-31 Liens entre *function*, *behaviour* et *structure* dans le modèle FBS (Gero, 1990)

(Labrousse et al., 2008) identifient que modèle FBS de Gero est limité aux produits de l'entreprise. Or, la modélisation des objets dépend fortement de l'entreprise la produisant et de ses processus d'ingénierie. Il est donc utile de prendre en compte les éléments qui impactent sensiblement le développement des produits. Dans l'objectif de généraliser le *framework* FBS en intégrant des notions permettant de décrire l'ensemble des entités intervenant dans le développement du produit, ils proposent le FBS-PPRE. Il s'agit d'exprimer de modéliser selon plusieurs objets avec les dimensions du FBS, dans un cadre cohérent. Les objets considérés sont :

- *Product*, l'objet résultat d'un processus de l'entreprise (qui peut être matériel ou immatériel) ;
- *Process*, l'organisation spatiale, temporelle et hiérarchisée d'activités de l'entreprise ;

- *Resource*, les objets utilisés en ressource pour la réalisation d'un *process* ;
- *External effect*, les contraintes portant sur la réalisation du *process*.

Dans les activités de l'entreprise, les *product* sont développés par des *process* exploitant des *ressources* et soumis à des contraintes nommées *external effect*, comme présenté en Figure 2-32.

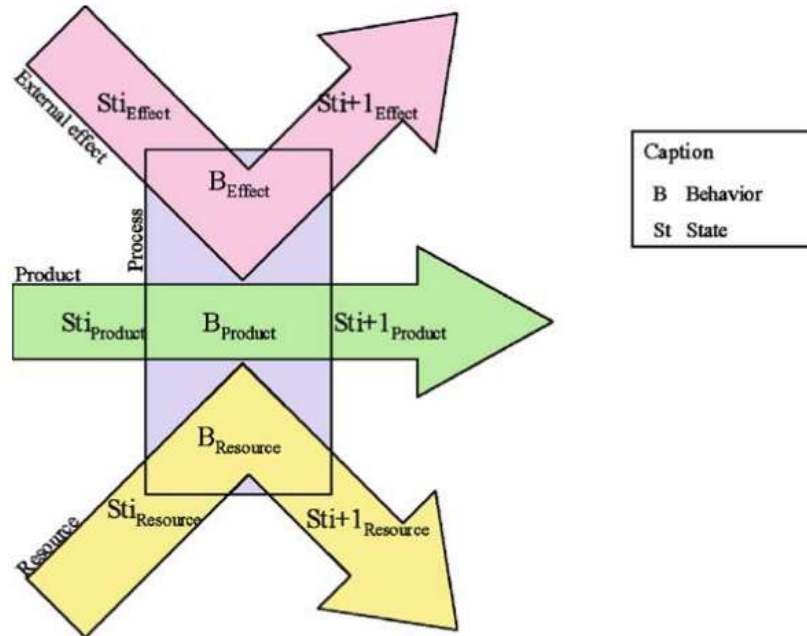


Figure 2-32 La gestion du comportement dans le modèle FBS-PPRE (Labrousse et al., 2008)

Cette modélisation considère l'ensemble des éléments prépondérants dans la mise à disposition d'un objet par des processus d'entreprise. En vertu du fait que le fonctionnement du PSS met en œuvre des ressources pour produire un effet à travers des processus, nous transposons cette modélisation aux objets composant le PSS, notamment aux composants de service.

Les auteurs proposent le modèle d'un objet selon le diagramme de classe présenté en Figure 2-33. Dans ce diagramme, les rôles PPRE sont représentés par les lois d'entrée/sortie (classe *Input/Output*, qui est en fait la classe relative au process). Un modèle UML (*Unified Modeling Language*) du FBS est proposé par (Labrousse et al., 2008) et y intègre les lois d'entrée/sorties, présenté en Figure 2-33. Il utilise les variantes FBS pour caractériser un « *object* » qui est l'élément identifiant le système considéré.

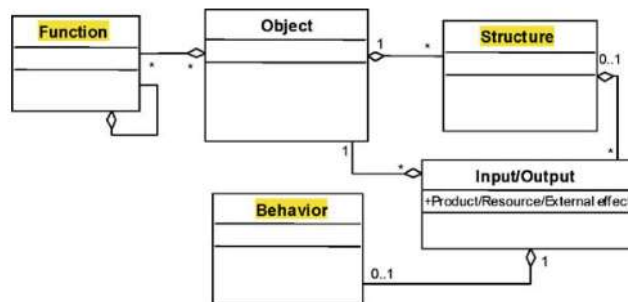


Figure 2-33 Modèle UML du FBS de (Labrousse et al., 2008)

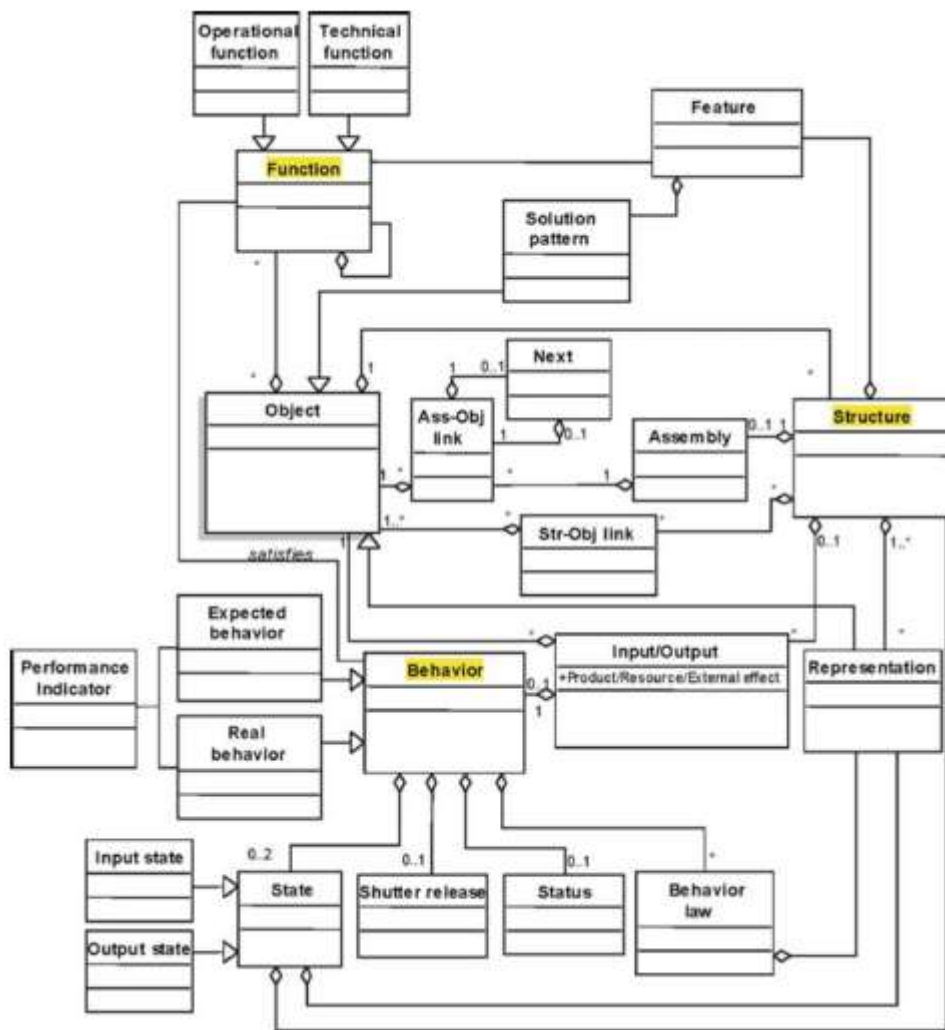


Figure 2-34 Diagramme de classe UML du FBS-PPRE (Labrousse et al., 2008)

Ces deux contributions présentent des concepts pertinents dans la description d'un objet à développer. Ces concepts sont rassemblés en Figure 2-35. Un objet développé est décrit par des attributs de type FBS. Les exigences sont appliquées à ces attributs. Les aspects de *product* (que nous renommons *result* par souci d'homogénéité), *ressource* et *external effect* sont mis en œuvre à travers des *process* qui sont des attributs de type *behaviour* d'un objet développé. En d'autres termes, les *process* sont décrits via les vues comportementales. Cependant, les entités exploitées pour leur rôle de *resource* ou *result* sont également référencées en tant que fonction ou de structures.

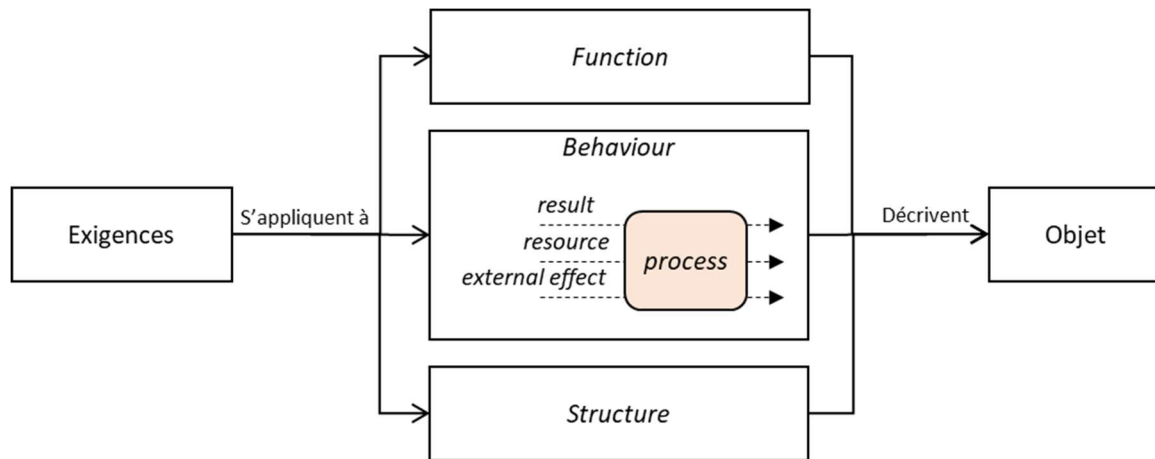


Figure 2-35 Ensemble des concepts du modèle FBS et FBS-PPRE

Apports. (1) Dans le modèle FBS-PPRE, des relations entre les attributs de FBS sont proposés. C'est à travers les vues comportementales et plus précisément les *process* qu'il est possible de décrire quels résultats et ressources sont mis en œuvre dans les phases d'usage du PSS. (2) Ces modèles peuvent être utilisés pour contribuer à la définition des éléments d'infrastructures dans la modélisation des PSS à travers la notion de ressource.

Limites. Au niveau des processus et méthodes de conception pour l'ingénierie des PSS, nous avons vu qu'il y a un développement fonctionnel, puis structurel, pouvant s'appuyer sur des représentations comportementales du PSS. Il semble opportun de coupler cette démarche de développement à deux architectures avec le modèle FBS et d'identifier comment les vues comportementales permettent de spécifier les éléments des architectures fonctionnelles et structurelles.

2.4.2.4. Modélisation de Fähnrich & Meiren

Dans la littérature, pour répondre à ce manque, plusieurs contributions proposent une modélisation qui permet de lier les fonctions, les solutions, les infrastructures et les aspects comportementaux.

En première définition, (Fähnrich et al., 2007) proposent une définition constitutive des services, en décrivant leurs principaux attributs. Ils considèrent le service comme un « *R&D object* », c'est-à-dire dans une perspective de conception. Selon leur définition, un service est décrit par trois dimensions associées à un type de modèle chacune :

- La dimension *structure*, qui définit les entités nécessaires à la réalisation des services. Elle intègre le modèle de « *ressource* » comme concept constitutif du service ;
- La dimension *process*, qui détermine comment les entités procèdent à la réalisation du service. Elle intègre le modèle de « *process* » comme concept constitutif du service ;
- La dimension *outcome* (ou résultat), qui détermine l'impact attendu et réalisé d'un service. Elle se traduit par la classe « *service product* » dans le modèle. Ici, le terme *product* est défini comme le résultat d'un service, mais pas un comme une entité tangible. Il est donc équivalent aux concepts de « *result* » présentés précédemment.

2.4.2.5. Modélisation par *Basic Element Model*

(Bullinger et al., 2003) utilisent également cette définition et proposent un modèle de service nommé *Basic Element Model*. Dans ce modèle, les différentes informations conceptualisées dans ces dimensions sont traduites en attributs « *service product* », « *resource* » et « *process* ». Ces attributs sont attachés au « *service activity* », qui est le concept identifiant un service, comme présenté en Figure 2-36. Dans cette figure, les termes employés sont homogénéisés avec ces travaux.

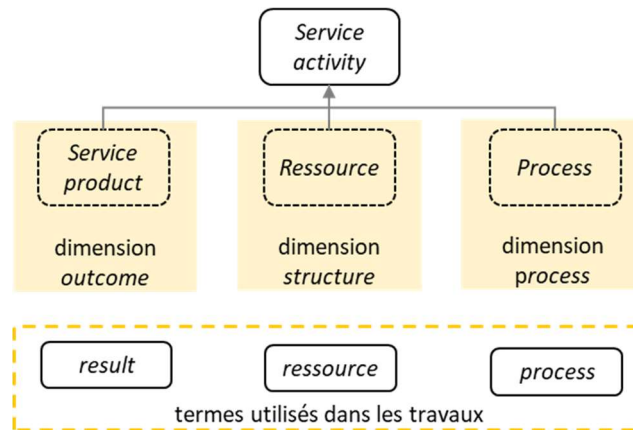


Figure 2-36 La modélisation des services de (Fährlich et al., 2007) se traduit en trois dimensions *outcome*, *structure* et *process*. Les termes sont homogénéisés dans ces travaux.

Le modèle de (Bullinger et al., 2003) est présenté en Figure 2-37. La classe « *product model* » ne fait pas référence aux produits ou éléments tangibles du PSS mais elle porte l'information de composition des *service activities*, assimilable aux architectures de l'ingénierie système.

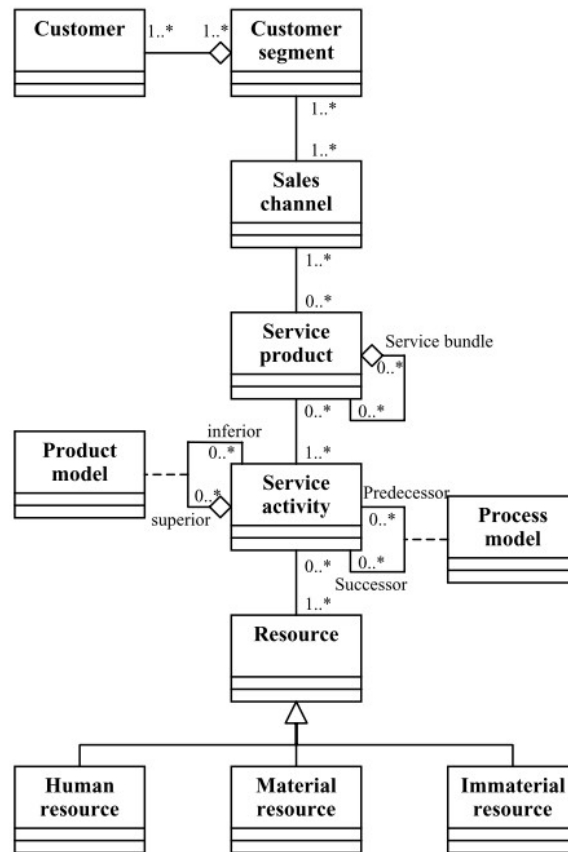


Figure 2-37 *Basic Element Model* du service selon (Bullinger et al., 2003)

Les trois dimensions sont similaires aux trois vues de l'Ingénierie Système. La dimension *structure* correspond aux vues structurelles, la dimension *process* correspond aux vues comportementales et la dimension *outcome* correspond aux vues fonctionnelles. Chaque entité de service est donc décrite à travers ces trois dimensions dans les vues correspondantes. En synthèse, les concepts du *Basic Element Model* sont adaptés aux termes présentés précédemment dans le Tableau 2-9.

Classe du <i>Basic Element Model</i>	Dimension associée	Information supportée	Concepts associés dans les travaux	Référence des éléments des vues
<i>Service activity</i>	NC	Élément d'identification du service centralisant les <i>service product</i> , <i>resource</i> et <i>process models</i> .	Service	À définir
<i>Product model</i>	NC	Structuration du service et relation de composition des services	Composition des systèmes de services	À définir
<i>Service product</i>	<i>Outcome</i>	Bénéfice du service attendu et fourni au bénéficiaire	<i>Service Outcome</i> ou résultat	Vue fonctionnelle
<i>Ressource</i>	<i>Ressource</i>	Éléments utilisés pour réaliser les services	<i>Service Resource</i>	Vue structurelle
<i>Process model</i>	<i>Process</i>	Définition de l'agencement des activités de service lors de leur réalisation	<i>Service Process</i>	Vue comportementale

Tableau 2-9 Repositionnement du Basic Element Model dans les concepts précédents

Apports. Cette modélisation permet de décrire les différents attributs du PSS et du service dans les vues fonctionnelles, structurelles et comportementales et les articule autour d'un concept commun du service, le *service activity*. Elle intègre les ressources de service dans les vues de structure et permet ainsi d'intégrer les infrastructures de service, de même que pour le *PSS semantic model* de (Hajimohammadi et al., 2017). Elle permet de compléter la modélisation FBS-PPRE : les *process* sont définis dans une vie comportementale et permettent de relier *outcome* et *result*. Ensuite, les *outcome* sont réalisés via des éléments de fonction et les *resource* via les éléments de structure.

Limites. Les termes utilisés dans cette modélisation ne sont pas homogènes avec les autres contributions de la littérature, mais les concepts sont similaires. Au-delà de cette question de vocabulaire, dans cette modélisation le produit est nécessairement vu comme une ressource du service. Cette modélisation oblige à décrire chaque système de produit comme affilié à un service et ne satisfait pas le critère de dualité entre produits et services.

De plus, cette contribution ne précise pas dans quel type de vue le service (issu de la classe *service activity*) doit être modélisé. Il est nécessaire de déterminer à travers quel type(s) de vue(s) ce concept, identifiant un service en centralisant ses attributs, doit être modélisé.

2.4.2.6. Requirement Data Model (RDMod)

La contribution de (Berkovich et al., 2012) qui a déjà été présentée dans au niveau des méthodes, supporte la dualité produit – service. Dans la suite, nous nous intéressons à ce que le RDMod implique en termes de modélisation du PSS.

L'expression du besoin est une des représentations d'un système. Dans les processus et méthodes, nous avons mis en évidence son rôle pour amorcer le développement du PSS. Néanmoins, les modélisations précédentes ne présentent que superficiellement cet aspect de besoins. (Andriankaja et al., 2016) proposent un *framework* pour concevoir un PSS en formalisant le besoin en exigences basé sur l'analyse fonctionnelle, depuis les hauts niveaux du PSS jusqu'à la solution. Les exigences sont une formalisation des besoins auxquels répond un système. (Berkovich et al., 2012) proposent une modélisation du PSS par les exigences plus structurée sur les niveaux de décomposition du PSS et mettant en avant une distinction produit - service, le RDMod pour *Requirements Data Model*. Elle représente le PSS à travers les exigences qui lui sont associés à différents niveaux d'abstraction ou niveaux de détails de son architecture. Les 5 niveaux d'abstraction sont :

- *Goal Level* : la valeur délivrée au client et les parties prenantes du PSS sont définies ;
- *System Level* : les exigences de haut niveau sont élicitées et proviennent des différentes parties prenantes dans le développement et l'usage du PSS. Elles sont décrites indépendamment des solutions ;
- *Feature Level* : les solutions sont abordées : les exigences sont attribuées aux composants de nature produit ou de nature service. Les exigences de service sont définies selon la nature de la contrainte qu'elles spécifient : *result-oriented*, *resource-oriented* ou *process-oriented*, de manière similaire aux différents modèles vus précédemment ;
- *Function Level* : les exigences décrivent la structure fonctionnelle du PSS et décomposent les exigences du niveau *feature* de manière à attribuer des exigences fonctionnelles aux composants ;
- *Component Level* : les composants sont définis à partir des exigences du niveau *function* selon leur domaine d'appartenance, qui sont l'ingénierie logicielle (software

engineering), l'ingénierie des services (service engineering) ou l'ingénierie des produits (product engineering).

Dans cette modélisation, le PSS est représenté par deux concepts principaux : les *design artifacts* et les exigences. Les *design artifacts* sont les représentations structurées décrivant la solution mise en œuvre pour répondre aux exigences, tandis que les exigences spécifient les besoins que le PSS doit satisfaire. Chaque niveau de décomposition possède un *design artifact* : le *system design* au niveau *feature*, le *function structure design* au niveau *function* et les *preliminary design* au niveau *component*.

Rapportés aux éléments décrits précédemment, les *design artifacts* sont transposés aux architectures fonctionnelles et structurelles du PSS. Elles sont effectivement les représentations du PSS dans ses vues fonctionnelles et structurelles supportant le développement des PSS et auxquelles sont associées les exigences. Cette décomposition du système couplée à une description du système par les exigences se traduit en une hiérarchisation des exigences. Les exigences du haut-niveau sont déclinées en exigences aux bas-niveaux. La modélisation des exigences des PSS est conçue telle que pour satisfaire une exigence mère, toutes les exigences filles doivent être satisfaites.

Pour les quatre derniers niveaux d'abstraction, les auteurs proposent une taxonomie d'exigence permettant d'identifier la nature d'une exigence, présentée en ANNEXE 1. Cette taxonomie permet d'identifier un type d'exigence. Par exemple, une exigence *ressource-oriented* au niveau *feature* peut être de nature ressource humaine, matérielle, informationnelle ou autre.

Apports. Du fait du niveau de détail possible, cette approche modélise finement un PSS selon le point de vue des exigences. Les exigences décrivent le PSS tout au long de son développement et viennent en parallèle de l'architecture fonctionnelle du système puis de l'architecture structurelle. Elles permettent ainsi de spécifier les éléments qui les composent. Elles sont organisées hiérarchiquement et suivent la décomposition du système décrite par ces architectures.

Cette contribution supporte les attributs *result/ressource/process* du service à travers les exigences. À travers ces trois attributs, il semblerait que les exigences formalisent les spécifications du système dans chacune des vues structurelles, fonctionnelles et comportementales.

Limites. À travers les différents modèles présentés précédemment, aucun ne contribue à la gestion de la diversité des PSS. Or, nous avons déterminé qu'il était nécessaire qu'elle se traduise au niveau des modélisations de PSS et il faut modéliser la diversité en cohérence avec les modèles définis jusque-là.

2.4.2.7. Modular product-service architecture

(Wang et al., 2014) proposent une architecture des PSS intégrant la configuration des PSS, basée sur les pratiques de gestion de configuration de produits. Dans la *Modular Product-Service Architecture*, présentée en Figure 2-38, ils proposent de décomposer une gamme de PSS (*product service family*) en articles unitaires de service (*service element*). Un *service business* est un ensemble de fonction regroupées dans un *service package* et répondant à un ensemble d'un consommateur. Nous le rapprochons du concept du système tel que vu par le bénéficiaire. Un *service package* est l'association de plusieurs fonctions de service, qui elles même sont réalisées à travers des *process modules* qui sont les activités élémentaires mises en œuvre dans la réalisation des services. Elles reposent sur des *service elements* qui sont les plus petits composants de service considérés. Ils peuvent être des activités ou des ressources utilisées. Bien que la définition de ces concepts soit relativement large, il semble que la démarche de décomposition suive des vues d'abord fonctionnelles au niveau *service package* et des

vues comportementales au niveau *service flow*, ce que l'on peut associer aux vues présentées précédemment.

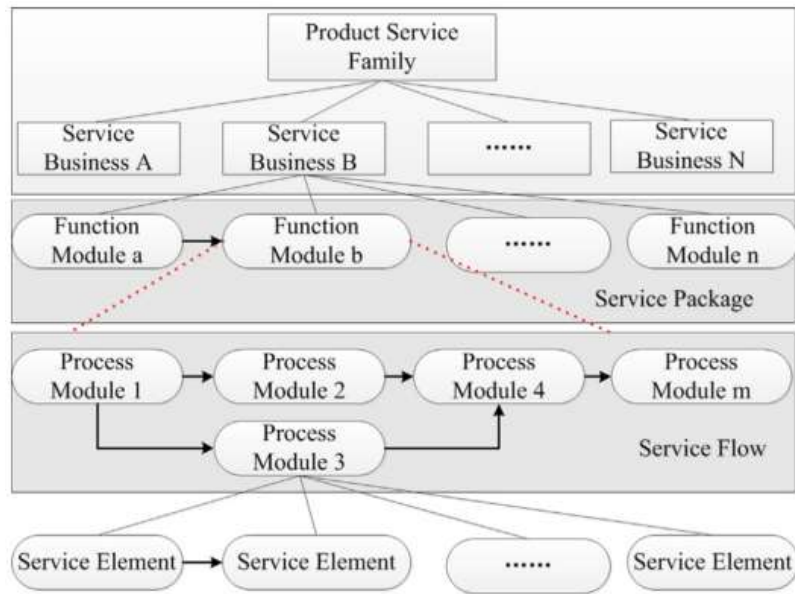


Figure 2-38 Les différents niveaux de la *Modular Product-Service Architecture* selon (Wang et al., 2014)

Les auteurs déclinent cette architecture en une ontologie de haut niveau (nommée *meta-ontology*) qui détaille les différents éléments constitutifs des PSS (voir en Figure 2-39 (a)). Ce modèle intègre la notion de contraintes de configuration. Une contrainte de configuration traduit des précisions du besoin qui impliquent la création de variantes d'un système. Pour faciliter la lecture de ce modèle, les classes soumises à la configuration sont encadrées en orange, tandis que les classes impliquant des contraintes de configuration sont encadrées en bleu. Ainsi, les contraintes de configuration peuvent être internes au PSS (*configuration constraints*), être issues de l'exploitation de ressources (*service resource*) ou être issues des demandes du client (*customer / function / process demands*). Ce sont donc des facteurs de diversité qui sont présentés ici.

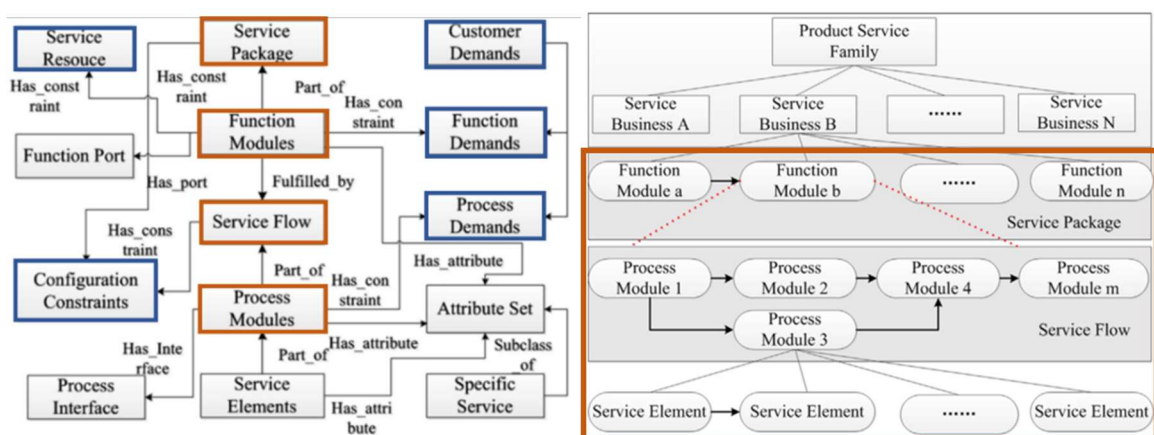


Figure 2-39 (a) *Meta-ontology of modular product-service* (Wang et al., 2014), les éléments intervenants dans la gestion de configuration sont colorés, (b) périmètre de la configuration dans l'architecture

De plus, chaque niveau de décomposition du PSS est affecté de contraintes de configuration et chacun de ces composants peuvent être déclinés en plusieurs variantes.

Apports. À travers cette contribution, nous établissons que les « *process modules* » sont concernés par la gestion de configuration. En effet, dans la mesure où l'on conçoit plusieurs scénarios pour un PSS, les processus doivent être déclinés avec plusieurs variantes. Or, les processus sont utilisés pour spécifier les éléments dans les architectures fonctionnelles et structurelles du PSS. Cela se traduit par contraintes de diversité pour les « *function modules* » et les « *service elements* ». Dans cette contribution, les ressources de services sont également soumises à la configuration du PSS.

Limites. La configuration définit des variantes à tous les niveaux de décomposition du PSS, mais n'explique pas quelle modélisation est utilisée pour décrire la diversité des systèmes. Ce manque a déjà été identifié au niveau des méthodes de gestion de la diversité. En se basant sur les apports de cette contribution, il est nécessaire de mettre en place des modèles pour gérer la diversité des éléments fonctionnels et structurels du PSS.

De plus, cette contribution se place dans le paradigme dans lequel chaque service repose sur les capacités d'un produit et ne situe pas explicitement le produit dans sa structure. Il est donc nécessaire de la compléter pour considérer également la diversité du produit.

2.4.3. Modélisation des PSS : synthèse intermédiaire

L'étude de l'état de l'art montre des concepts forts dans la modélisation des PSS pour le développement. La représentation du service par le triplet *result-process-ressource* est largement reprise à travers les travaux et permet de supporter les spécificités du service (Bullinger et al., 2003; Fähnrich et al., 2007; Gero, 1990).

Trois vues, fonctionnelles, comportementales et structurelles, sont mises en œuvre pour la modélisation du PSS. Elles permettent d'intégrer les notions de *result-process-ressource* (Labrousse et al., 2008). Pour être concrétisée, la modélisation du PSS doit déterminer comment formaliser l'architecture du PSS et intégrer les fonctions et solutions de produits et de service, tout en intégrant ce triplet.

D'une part, les processus sélectionnés pour répondre à la problématique impliquent une première modélisation d'architecture fonctionnelle qui est suivie de l'architecture structurelle PSS. D'autre part, les vues comportementales permettent de définir les *service process* des PSS pour ensuite associer les notions de *result* et de *resource*. Or, la notion de *result* se traduit comme la capacité d'un élément à satisfaire une fonction et la notion de *resource* permet de définir comment un service exploite une infrastructure. Cela permet de déterminer comment les vues comportementales peuvent être associées aux architectures fonctionnelles et structurelles.

Nous avons défini que la modélisation du PSS devait supporter la distinction entre produit, service et infrastructure. La modélisation des exigences de (Berkovich et al., 2012) propose cette distinction entre produits et service et le concept de ressource permet d'associer les infrastructures aux services.

2.4.3.1. Les concepts à intégrer dans la proposition de modélisation des PSS

La description des PSS dépend en partie du processus de développement des PSS. Les éléments pertinents dans la modélisation des PSS sont appelés ici « descripteurs ». Un descripteur est donc une catégorie d'informations ou de données utilisée dans la description d'un objet. Nous avons établi que la modélisation des PSS se traduit par des entités de PSS, de produit et de service. C'est-à-dire qu'un élément considéré du système sera soit de nature PSS, soit de nature produit, soit de nature service. À la suite de l'analyse de l'état de l'art et des enjeux industriels, nous pouvons déterminer que les descripteurs à considérer dans la modélisation sont présentés en Tableau 2-10.

Descripteur	Produit	Service	PSS
Fonctionnel	X	X	X
Comportemental	X	X	X
Structurel	X	X	X
Process de service		X	X
Ressources		X	X
Résultats de service		X	X
Exigences	X	X	X
Diversité	X	X	X

Tableau 2-10 Descripteurs issus de l'état de l'art

Ces descripteurs sont en première approche les éléments que la modélisation des PSS doit incorporer. Les descripteurs fonctionnels, comportementaux et structurels sont définis comme les vues correspondantes. Les descripteurs de diversité permettent de structurer les informations relatives aux variantes des entités. Les descripteurs de processus de service représentent le déroulé des tâches dans la réalisation d'un service. Les descripteurs de ressources représentent l'exploitation des infrastructures dans la réalisation d'un service. Les descripteurs de résultats de service représentent les services vus par leur rôle dans le PSS.

2.4.3.2. L'intégration de ces concepts dans les vues fonctionnelles, comportementales et structurelles




Ces descripteurs sont liés entre eux. Il est nécessaire d'explicitier la relation entre ces descripteurs pour déterminer comment modéliser les PSS. Le Tableau 2-11 présente comment, grâce à l'énumération et la caractérisation des descripteurs réalisée dans cet état de l'art, nous positionnons les descripteurs de diversité, ressource, résultats de service, processus de service et exigences dans les vue fonctionnelles, comportementales et structurelles.

	Vue Fonctionnelle	Vue Comportementale	Vue Structurelle
<i>Rappel de définition des modèles correspondant aux vues</i>	<i>Objectifs remplis par les entités</i>	<i>Évolution du système en fonction des sollicitations qui lui sont appliquées</i>	<i>Composition et hiérarchie des entités du système</i>
Descripteurs de diversité			La diversité est une caractéristique des entités composant le système
Descripteurs de ressource	Les ressources sont utilisées dans le PSS pour leur résultat fonctionnel	Les ressources sont mises en œuvre dans la réalisation des processus de service	Les ressources sont des entités composant le service
Descripteurs de résultat de service	Un résultat de service est la fonction qu'il remplit		
Descripteurs de processus de service		Un processus de service est le scénario de réalisation qu'il suit	
Descripteurs d'exigences	Les exigences permettent de structurer et décrire des objectifs des entités du système	Les exigences permettent de spécifier les comportements des systèmes et les flux échangés	Les exigences s'appliquent aux systèmes et composants de la solution

Tableau 2-11 Correspondances entre les descripteurs et les vues issues de l'ingénierie système

2.4.3.3. Réponse aux critères d'analyse

Les nombreuses publications de la littérature apportent des contributions pertinentes en réponse à la problématique. En début de ce sous-chapitre, nous avons décliné les critères d'analyse de la problématique pour les appréhender au niveau de la modélisation des PSS. Les apports de l'état de l'art pour le sous-chapitre sont présentés dans le Tableau 2-122-13.

Critère d'analyse	« Les modèles doivent permettre de... »	Apports de l'état de l'art
	Proposer une modélisation centrée sur les concepts de produit et le service de manière à pouvoir les considérer individuellement et modéliser les interactions entre les produits et les services	Apports : Le <i>Requirement Data Model</i> utilise une dualité produit/service et décompose le PSS en sous-systèmes ou composants de nature produit ou service. Limite : Peu de détails sont donnés sur la distinction entre produits et services qu'il faudra éliciter et appliquer dans les modèles d'architecture.
	Représenter la décomposition du système depuis le PSS jusqu'aux sous-éléments les plus petits	Apports : Les systèmes sont décrits par des architectures qui les représentent comme un ensemble d'entités en interaction entre elles. Ces architectures portent une logique de composition et décomposition du système selon différents paramètres : décomposition fonctionnelle ou structurelle selon la vue adoptée. Limites : Il est nécessaire de mettre en cohérence ces deux architectures
	Décrire la diversité associée au niveau des éléments du système et décrire les liens d'applicabilité et de configuration.	Apports : La <i>Modular Product-Service Architecture</i> définit des contraintes de configuration à plusieurs niveaux de définition du PSS. Les process de service sont déclinés en plusieurs variantes, ce qui se traduit en diversité fonctionnelle. Limite : Il est nécessaire de décrire parallèlement la diversité du produit, du service et de modéliser l'association entre ces variantes.





	<p>Modéliser les aspects dynamiques des PSS</p>	<p>Apports : Les représentations comportementales permettent de représenter les évolutions séquentielles d'un système et d'intégrer les conditions de l'environnement. Le modèle FBS-PPRE situe ces notions dans les vues comportementales et les décrit avec les aspects de <i>result</i> et <i>resource</i> qui sont transformées par un <i>process</i> de service.</p> <p>Limites : Il est nécessaire de définir comment les vues comportementales du système sont associées aux architectures fonctionnelles et structurelles.</p>
	<p>Définir comment les infrastructures sont modélisées dans le PSS</p>	<p>Apports : Les infrastructures sont intégrées en tant que ressources dans les modélisations du PSS.</p>
	<p>Permettre de structurer les demandes des différentes parties prenantes du développement de PSS. Permettre d'échanger les représentations de PSS avec les différents acteurs de la conception.</p>	<p>Apports (1) Les exigences décrites au début du développement du PSS permettent de structurer les besoins des différentes parties prenantes. Dans le RDMod, elles sont déclinées à travers les différents niveaux de décomposition pour être associée aux fonctions et aux solutions de PSS (2) Les exigences sont une formalisation rigoureuse des besoins auxquels les sous-systèmes doivent répondre et permettent de partager les spécification aux différents acteurs de la conception.</p> <p>Limites : L'intégration des parties prenantes repose sur des exigences, qu'il est nécessaire d'associer à des vues partagées dans le développement.</p>
	<p>Déterminer comment les données d'usage et leur utilisation sont modélisées</p>	<p>Apports : Les données d'usage mettent en jeu des systèmes d'infrastructure spécifiques qui sont des sous-systèmes de PSS. Elles sont traitées par des services spécifiques.</p> <p>Limites : La gestion des données d'usage implique des disciplines d'ingénierie logicielle et d'architecture des systèmes d'information, qui utilisent des modélisations spécifiques.</p>

Tableau 2-122-13 Apports des modélisations de PSS en regard des critères d'analyse

Nous avons étudié l'état de l'art en le découpant en trois niveaux issus du cadre méthodologique. Cependant, les différents apports et limites identifiées dans la littérature scientifique à un niveau impactent les autres niveaux de ce cadre. Cette transversalité a été prise en compte à chacun des niveaux. Pour mettre en évidence des apports et limites globales, dans la section suivante, nous présentons une synthèse de l'état de l'art aux trois niveaux.

2.5. Synthèse de l'état de l'art

Nous avons déterminé que pour répondre à la problématique, il est nécessaire de s'intéresser aux approches d'ingénierie, aux processus, méthodes et outils d'ingénierie et enfin aux modélisations de PSS. Dans la suite, nous présentons les apports et limites de l'état de l'art de manière transversale aux trois niveaux de ce cadre méthodologique.

Au niveau des approches d'ingénierie, le PLM et le SLM permettent de supporter le développement des PSS. Parmi les différents schémas d'interaction proposés par (Wiesner et al., 2015), nous avons identifié que le PLM et le SLM doivent être disposés en parallèle pour permettre de développer les produits et les services sur des cycles de vie indépendants. Cependant, ces interactions nécessitent d'être étudiées plus en détail. De plus, le SLM est un concept émergeant dans la littérature et n'est pas suffisamment défini pour répondre à la problématique. Enfin, une troisième approche, l'Ingénierie Système, intègre un ensemble de pratiques et de modélisations pertinentes pour répondre aux critères d'analyse (ISO/IEC/IEEE 15288:2015). Ces pratiques, qui ont été identifiées au niveau de l'approche, sont appliquées au niveau des processus, méthodes et outils ainsi que via les modèles qu'elle met en œuvre. Elles sont aussi adaptées aux spécificités du PSS. À travers l'Ingénierie Système, il est possible de définir le PSS comme un système composé de produits et de services en interactions. Dans la proposition, il sera nécessaire de déterminer avec plus de détail comment le PLM et le SLM interagissent, en qualifiant ces interactions et en s'appuyant sur l'Ingénierie Système.

Concernant les processus et méthodes de développement du PSS, les contributions de la littérature permettent de définir qu'un PSS est d'abord décrit du point de vue de son besoin. Pour cela, (Morelli, 2006) met en œuvre des représentations narratives et comportementales de son fonctionnement, qui permettent d'établir son architecture fonctionnelle ensuite. Cette architecture, définie par (INCOSE, 2015) permet de systématiser la conception du PSS et de le décliner en sous-éléments fonctionnels (Müller et al., 2007; Wang et al., 2011b). La phase d'allocation fonctionnelle permet ensuite d'établir quels éléments de solution permettent de satisfaire les fonctions de l'architecture fonctionnelle. Lors de l'allocation fonctionnelle, les éléments de solution sont déclinés en produits et service du PSS (Berkovich et al., 2012; Müller et al., 2007). En parallèle de ce processus, les exigences sont définies à tous les niveaux de décomposition du PSS et se réfèrent à ses architectures et à leurs éléments de systèmes (Berkovich et al., 2012).

La gestion de la diversité est traitée dans le développement de PSS à travers des définitions générales de la diversité (ElMaraghy et al., 2013) et de la configuration des systèmes (ISO/IEC/IEEE 15288:2015). Une méthode de configuration de PSS proposée par (Aurich et al., 2009) permet d'associer différentes variantes de produits et de service à travers des matrices de compatibilité. Elle propose aussi une matrice d'applicabilité des variantes aux paramètres du PSS, qui permet de configurer le PSS en fonction de ses caractéristiques éventuellement variables dans ses cycles de vie. Néanmoins, cette méthode ne permet pas de décrire une variante pour ses caractéristiques propres mais à travers les configurations. Cet aspect devra être traité dans la proposition. De plus, la gestion de la diversité s'articule autour des modèles du PSS. La proposition devra également expliciter comment la diversité s'applique aux modélisations retenues du PSS.

Au niveau des modélisations de PSS, trois vues de modélisation, comportementale, structurelle et fonctionnelle, sont pertinentes pour décrire un système (Gero, 1990; Umeda et al., 1990). Parallèlement, les PSS et les services sont définis par des attributs de résultat, process et ressource (*result, process, resource*) (Berkovich et al., 2012; Fähnrich et al., 2007). Nous nous appuyons sur le modèle FBS-PPRE de (Labrousse et al., 2008) pour allier ces trois vues et ces trois attributs.

Dans les différentes modélisations, le PSS possède les attributs du service et le définir comme un produit ne permet pas de modéliser l'ensemble des informations pertinentes pour son développement. Or, dans une logique de continuité, le développement de PSS ne doit pas remettre en cause l'approche PLM. Cela permet de déterminer que le PSS doit être considéré comme un service de haut niveau et supporté par le SLM.

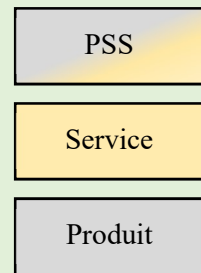
Dans l'état de l'art, nous avons ainsi déterminé plusieurs contributions qui permettent de définir des éléments du cadre méthodologique pour répondre à la problématique. Cependant, nous avons identifié plusieurs manques qui seront abordés dans la proposition. De plus, ces travaux s'intéressent à la cohérence des différents éléments méthodologiques à travers les différents niveaux que nous avons décrits. La proposition doit permettre d'assurer cette cohérence en intégrant les différentes contributions dans une logique commune.



Chapitre 3 Proposition d'un cadre méthodologique pour le développement et la gestion des PSS automobiles

Cette partie du manuscrit présente les éléments proposés pour répondre aux manques et verrous scientifiques identifiés dans le chapitre d'état de l'art. La proposition s'adresse à tous les niveaux du cadre de travail et est présentée en regard des 7 critères d'analyse proposés.

Dans ce chapitre, nous utilisons le code couleur défini précédemment pour différencier les services (en orange), les produits (en gris) et les PSS (en dégradé gris-orange)



3.1. Proposition au niveau des approches d'ingénierie

Dans ce paragraphe, nous présentons notre proposition au niveau des approches d'ingénierie. Nous proposons de supporter le développement et la gestion des PSS à travers le PLM et le SLM et d'éliciter les interactions entre ces approches. Pour cela, nous mettons en œuvre des pratiques de l'ingénierie système, qui permettent de structurer les interactions entre les concepts de produits et de services à travers le PSS (voir Figure 3-1).

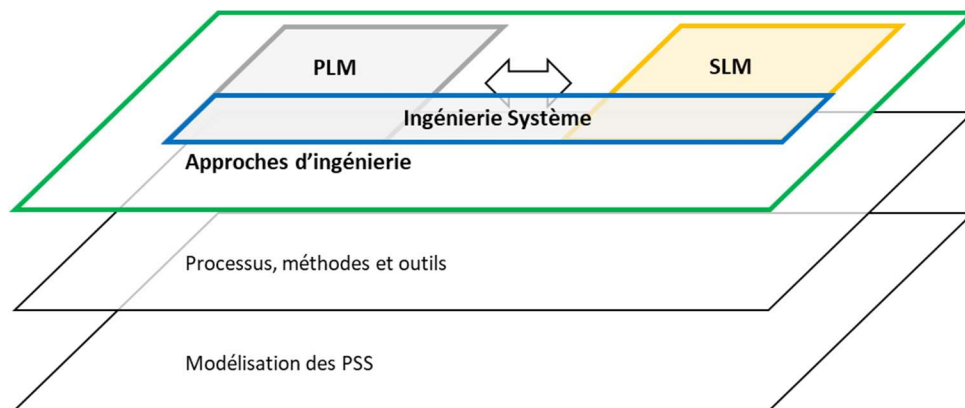


Figure 3-1 Proposition d'interaction du PLM et du SLM à travers les pratiques de l'IS

Dans un premier temps, nous détaillons comment la proposition s'intègre dans le paysage des approches existantes des constructeurs automobiles, puis nous abordons la proposition d'interaction entre PLM et SLM.

3.1.1. Paysage d'approches d'ingénierie des PSS

Ce paragraphe décrit l'ensemble des approches d'ingénierie mises en œuvre dans ce travail de thèse. Comme évoqué lors de la présentation du contexte industriel et des contraintes liées à ce contexte, la proposition doit s'intégrer avec les approches existantes. Le paragraphe suivant s'attache donc à détailler comment la proposition se positionne par rapport aux approches existantes.

3.1.1.1. Les approches existantes dans le périmètre de l'ingénierie des produits et services

Au niveau des approches d'ingénierie, comme déterminé en fin de l'état de l'art, la proposition se compose d'une approche SLM en complément de l'approche PLM existante pour l'ingénierie globale des PSS. Dans un premier temps, l'ensemble des principales approches existantes est présenté en Figure 3-2, puis dans un second temps la proposition est positionnée dans cet ensemble en Figure 3-4.

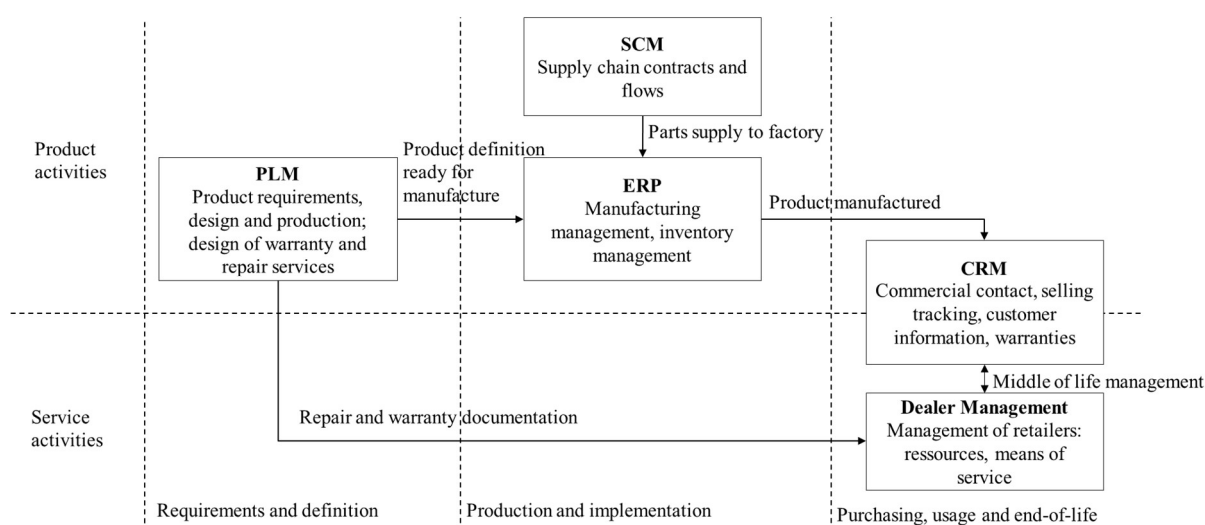


Figure 3-2 Les approches existantes dans un paradigme faible en services

Le PLM, dans ses implémentations les plus courantes, supporte les activités de conception du produit, du besoin jusqu'avant la production. Bien que l'approche soit généralement avant tout centrée sur les activités de conception, elle prend en compte tout le cycle de vie des produits et va théoriquement au-delà de la production du produit, jusqu'à sa fin de vie. Par exemple, lors de la conception, les différentes phases de vente, d'usage ou de fin de vie du produit sont considérées. Dans les approches existantes, les services que propose un constructeur automobile sont couramment la garantie, l'entretien et les réparations. Ces services sont développés dans l'approche PLM et leur opération met en œuvre une organisation spécifique orientée entretien et réparation.

Ces services sont alors considérés comme un complément du produit et pris en charge par les approches produit, comme illustré en Figure 3-3. Sur cette figure, les services (la couronne extérieure) sont des activités d'ingénierie effectuées sur le cycle de vie du véhicule (le cercle intérieur). L'illustration est interprétée des travaux de (Seifert et al., 2011) qui mettent en relation les services et les produits dans le concept de « *Kernel based extended products* ».

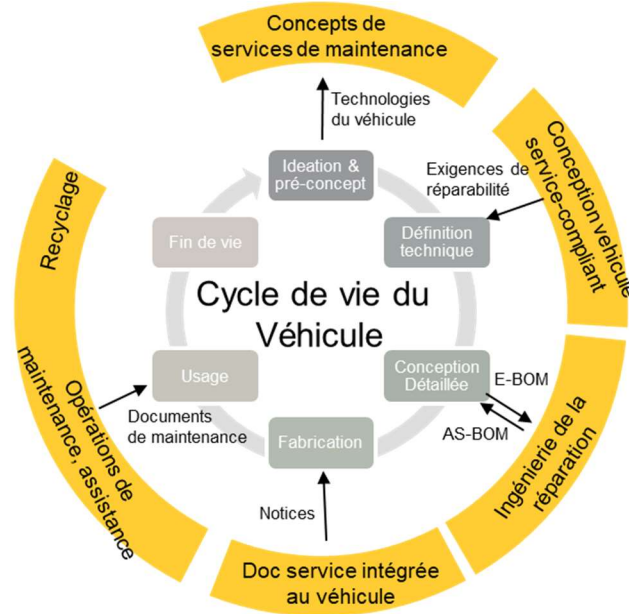


Figure 3-3 Activités de service autour du cycle de vie de produit, exemple de la maintenance automobile

Les approches CRM permettent de gérer la relation entre l'entreprise et les clients, avec notamment la traçabilité des échanges et les informations personnelles propres aux clients. En particulier, elle gère l'historique de réparation des véhicules, ainsi que les informations relatives aux contrats d'entretien et de garantie des clients. Enfin, le CRM utilise l'information relative à la configuration des véhicules. L'approche de *Dealer Management* (DM) supporte l'écosystème de points de vente et de réparation du constructeur automobile. Il reçoit notamment les informations techniques nécessaires à la réalisation des services d'entretien et de réparation, par exemple la liste des pièces de rechanges utilisables pour un véhicule immatriculé ou les méthodes de réparation de ce véhicule. Le DM interagit donc fortement avec le CRM, pour avoir notamment la connaissance des opérations d'entretien à réaliser en fonction de l'historique, des contrats d'entretien et garantie, ainsi que de la configuration du véhicule.

3.1.1.2. Intégration du SLM dans le paysage d'approches existantes

Au-delà des services historiques d'entretien et réparation, l'ingénierie des nouveaux services n'a pas de position clairement attribuée dans ces approches. Comme expliqué en contexte, certains services se détachent du cycle de vie du véhicule. La stratégie existante, qui consiste à définir les documents de conception du service comme un livrable secondaire du véhicule, se trouve alors mise à défaut. Or, un service est un objet technique possédant un cycle de vie propre et nous avons évoqué la nécessité de le gérer en tant qu'objet de développement différencié du produit afin de prendre en charge ses spécificités.

La Figure 3-4 présente comment le PLM et le SLM s'inscrivent dans les principales approches d'ingénierie existantes d'une entreprise manufacturière telle qu'un constructeur automobile. Le développement des PSS est supporté par l'approche PLM pour sa partie produit et SLM pour sa partie services.

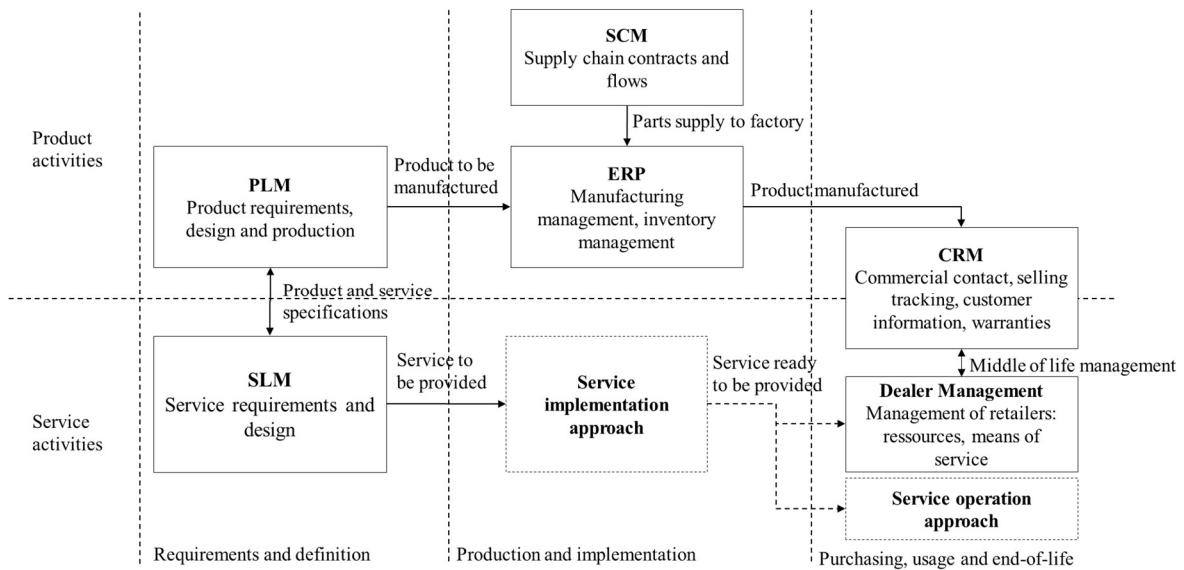


Figure 3-4 Proposition d'interaction du SLM et PLM dans les approches existantes

L'implémentation des services est supportée par une approche qui n'est pas définie par ce travail de recherche. Ce paragraphe aborde la mise en place des infrastructures de service dans le but de disposer d'infrastructures conformes à la définition initiée dans le SLM. En sortie de l'approche implémentant les services, les services sont prêts à être réalisés. Pour réaliser l'opération des services, le DM est focalisé sur les services d'entretien et réparation, ainsi que les garages ou concessions automobiles associés. Mais il ne permet pas de traiter des nouveaux services de natures très différentes, tels que ceux liés à la mobilité. Il est complété par une nouvelle organisation et des nouveaux outils pour supporter les services qui sont décorrélés de ces établissements. Cette activité pourrait être supportée par une évolution du DM ou une nouvelle approche.

En synthèse, la Figure 3-5 exprime la loi d'entrée / sortie du SLM dans le cas du développement d'un PSS et en regard de la dualité PLM/SLM présentée en état de l'art. Les données d'entrée du SLM sont les concepts préliminaires d'un PSS permettant de le décrire avant les phases de conception détaillée. Les externalités du SLM sont : des spécifications des produits vers le PLM, la définition de services conçus et prêts à être implémentés, ainsi que la définition du système d'infrastructures de service.

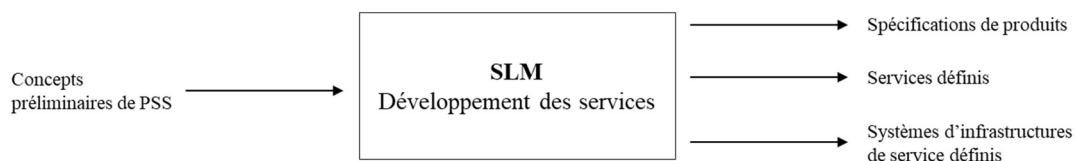


Figure 3-5 Vue « boîte noire » du SLM dans la proposition

Dans la proposition, nous mettons en œuvre le SLM pour supporter le développement et la gestion des services. Dans l'approche SLM, les activités de conception du service ne sont plus organisées autour du cycle de vie du produit, mais sur le cycle de vie du service. Cette dualité produit – service est présentée en Figure 3-6. Les approches PLM pour le cycle de vie du produit et SLM pour le cycle de vie du service sont en interaction.

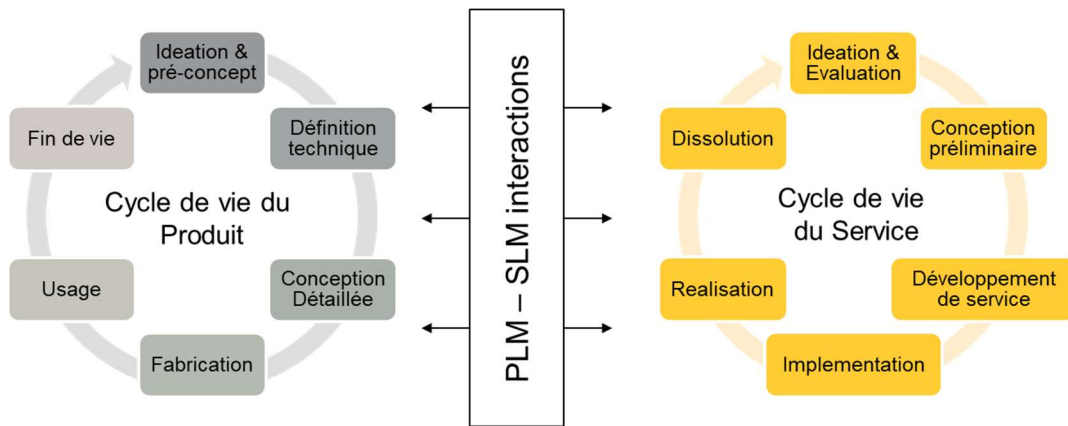


Figure 3-6 Dualité des cycles de vie produit et service dans la proposition

Nous avons ainsi défini le PLM et le SLM pour supporter l'ingénierie des PSS. Après cette présentation d'un haut niveau d'abstraction, nous proposons d'identifier plus en détail ce qui constitue le PLM et le SLM afin de déterminer les interactions qui les relient ensuite.

3.1.2. Proposition de définition du SLM selon le modèle en 5 dimensions

Pour définir plus précisément le SLM, nous proposons d'utiliser le cadre de modélisation en 5 dimensions de (Silventoinen et al., 2011), introduit pour sur la Figure 2-8, comme prisme de lecture. À l'origine, cette modélisation s'intéresse au PLM. Nous proposons de définir le SLM sur le même cadre en vertu des similarités entre PLM et SLM. Ces 5 dimensions sont définies comme suit : stratégie, architecture informatique, processus et méthodes d'ingénierie, structure, culture et personnes. La Figure 3-7 reprend donc le cadre de (Silventoinen et al., 2011) pour décrire précisément le SLM tel que nous l'entendons. Nous décrivons dans la suite chacune des dimensions du SLM.

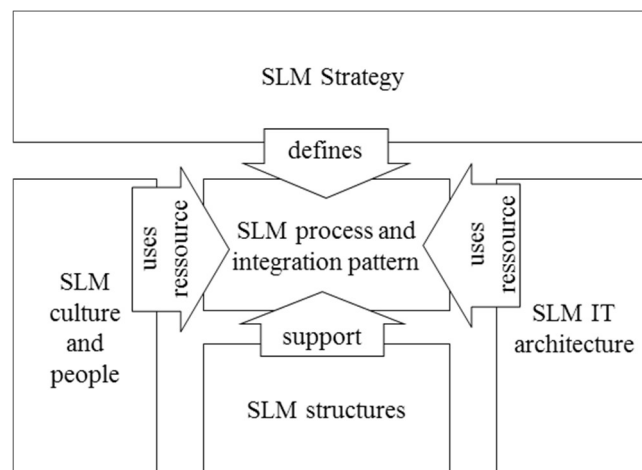


Figure 3-7 Dimensions du SLM d'après le modèle de (Silventoinen et al., 2011) transposé aux services

3.1.2.1. Dimension stratégie

La dimension stratégie SLM s'inscrit dans la vision et les objectifs à long terme de l'entreprise en supportant le choix et la planification des PSS qu'elle souhaite développer. De cette stratégie découle les phases d'ingénierie mises en œuvre, à travers les processus et méthodes d'ingénierie.

3.1.2.2. Dimension architecture informatique

Un principe essentiel de l'approche SLM est de centrer les différentes activités d'ingénierie des services autour de solutions logicielles et systèmes d'information partagés entre les disciplines et les expertises d'ingénierie. La dimension d'architecture informatique SLM se compose des outils logiciels mis en œuvre pour assister ou automatiser les tâches d'ingénierie et structurer les informations relatives au développement des objets du SLM. C'est métaphoriquement une colonne vertébrale informationnelle cohérente, qui permet d'organiser les activités autour du cycle de vie du service comme un ensemble holistique. C'est par exemple le cas des approches PLM centrées sur la maquette numérique, dont les modèles 3D et la nomenclature associée sont utilisés aux différentes étapes de conception et par différents métiers, mais aussi pour les activités de fabrication et logistique comme présenté en Figure 3-8.



Figure 3-8 Système PLM et applications métier d'après (Le Duigou, 2010)

De même que pour le PLM, la dimension d'architecture informatique SLM peut être représentée selon trois sous domaines : les outils informatiques supports aux activités d'ingénierie du service, les données d'ingénierie gérées par les systèmes informatiques et les services techniques, comme présenté en Figure 3-9.

- Les différents outils assistant les activités d'ingénierie du service sont présentés dans la partie « *Service engineering softwares* ». Certains outils sont centrés sur le développement propre du service (*Connected service design, software engineering* par exemple) et ciblent des tâches

verticales dans le développement d'un service. Des solutions logicielles transversales ou horizontales sont centrées sur les processus de conception permettent d'organiser les activités d'ingénierie, notamment concernant l'ingénierie collaborative, la gestion de la confidentialité, la gestion des workflows etc.

- Le « *service master data* » structure et sauvegarde les données produites durant ces activités d'ingénierie. Ce sont les différentes représentations des services développés (nomenclatures, données techniques, etc.). Éventuellement, si les processus d'ingénierie sont assistés par des outils, le *service master data* structure également les données propres au suivi des processus (*workflows*, jalons, etc.)
- En parallèle de toutes ces solutions logicielles, l'architecture informatique se compose de services techniques « *ICT technical services* ». La fonction de ces services est d'assurer le bon fonctionnement des solutions logicielles pour les aspects de disponibilité, de sûreté des données, de gestion des impacts des évolutions logicielles.

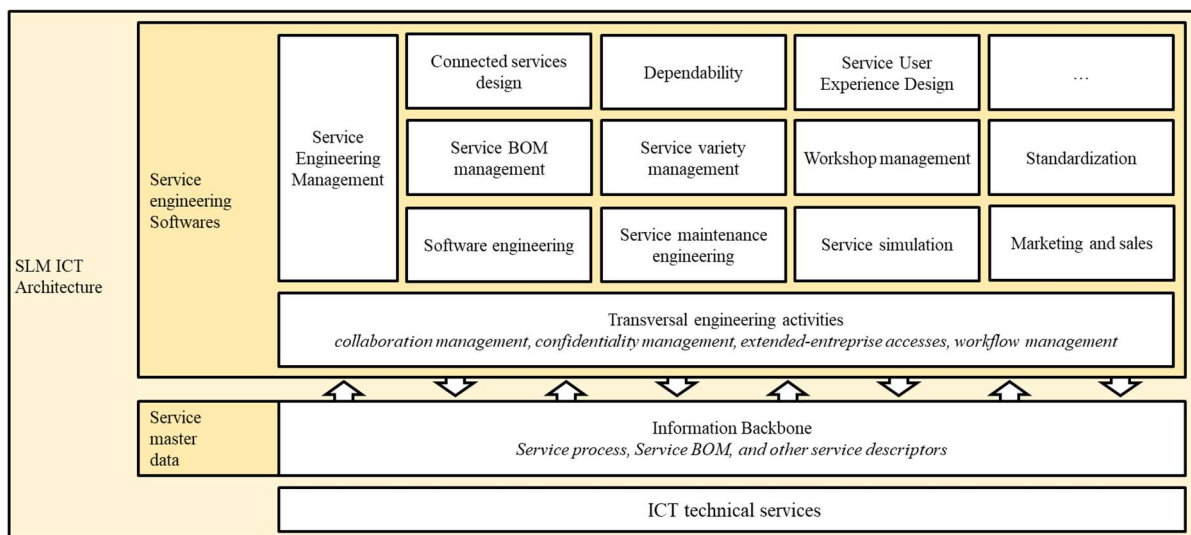


Figure 3-9 Détail des solutions logicielles type de la dimension « SLM IT architecture »

3.1.2.3. Dimension processus et méthodes d'ingénierie

Les processus et méthodes d'ingénierie des PSS sont représentés dans la dimension « *SLM process and integration pattern* ». Elle représente les processus et méthodes mis en œuvre lors de l'ingénierie des services. Cette partie est décrite plus précisément dans la suite du manuscrit, dans la deuxième partie de la proposition (3.1.3). Dans une démarche SLM mature, les processus et méthodes d'ingénierie sont fortement supportés par les systèmes informatiques de la dimension d'architecture informatique SLM. Les outils et systèmes informatiques sont au service de la réalisation des processus et méthodes, en facilitant et automatisant des tâches et en sauvegardant les données associées.

3.1.2.4. Dimension structure

La dimension structure du SLM regroupe l'ensemble des représentations du service portant les relations entre les composants de service et l'information qui leur est liée. Ces représentations du service qui seront décrites en troisième partie de proposition (0). Parmi les aspects abordés par ces représentations, l'état de l'art mentionne la nécessité de structurer les informations autour des exigences d'ingénierie, de la diversité des services et des aspects comportementaux, structurels et fonctionnels du

service. En particulier dans le SLM, les informations de service doivent aussi considérer les aspects de ressources tels que les infrastructures de service.

3.1.2.5. Dimension culture et personnes

La dimension « *SLM culture and people* » se consacre aux connaissances et compétences des équipes impliquées dans l'ingénierie du service, mais aussi à la culture qui prend place dans l'entreprise. Ce paramètre impacte nécessairement la dimension des processus et méthodes d'ingénierie, dans la mesure où le développement d'un produit a lieu à la rencontre d'outils de conception et de compétences et connaissances des équipes d'ingénierie. Cette dimension n'est pas pleinement du génie industriel, mais aborde les domaines de l'apprentissage et de la psychologie. Bien que cette dimension ne soit pas analysée en détail dans le travail de recherche présenté ici, les processus, méthodes et représentations de services dans la proposition dépendent nécessairement des connaissances et compétences relatives à l'ingénierie des services.

Nous avons ainsi défini plus précisément le SLM. Dans la prochaine section, nous nous appuyons sur cette définition pour proposer différentes interactions entre PLM et SLM.

3.1.3. Proposition d'interaction PLM / SLM dans le contexte automobile

Cette modélisation du PLM et du SLM en 5 dimensions équivalentes nous permet de proposer des schémas d'interaction plus détaillés. Nous avons au préalable déterminé que PLM et SLM seraient deux approches concourantes. Dans la suite, nous nous basons sur cette orientation pour définir comment chaque dimension supporte les interactions entre PLM et SLM. Le Tableau 3-1 présente ces interactions en synthèse, que nous détaillons ensuite.

3.1.3.1. Dimension stratégie

Les dimensions stratégie du PLM et du SLM sont en interaction pour mettre en cohérence la planification des services et des véhicules, ainsi que les technologies développées. L'exemple suivant permet de mieux appréhender ce que nous entendons par stratégie et le niveau de granularité des problématiques traitées à ce niveau : à partir de quelles générations d'architectures électroniques des véhicules l'entreprise peut-elle associer un service de diagnostic connecté au véhicule ?

3.1.3.1. Dimension architecture informatique

Pour la dimension de l'architecture informatique, l'interaction entre le PLM et le SLM implique des échanges de données entre les trois sous-domaines de l'architecture informatique. Les applications logicielles ainsi que les données sauvegardées dans cette dimension ne reflètent pas notre objet de recherche. Cependant, nous déterminons que les solutions informatiques du PLM et du SLM doivent être capables d'échanger des données.

Dimension	Interaction
Stratégie	Alignement des roadmaps produit et services sur les aspects technologiques et calendaires. Spécification de l'organisation et des moyens réalisant l'ingénierie des PSS.
Processus et méthodes d'ingénierie des PSS	Processus commun de conception des PSS, se déclinant en méthodes spécifiques aux problématiques : Méthode de gestion de la diversité produit-service. Méthode d'architecture système pour l'allocation des systèmes aux produits et services.
Structures	Définition du PSS et de ses composants, structuration des liens entre produit et services. Applicabilité produit-services. Architecture des PSS.
Architecture informatique	Échanges d'informations entre les outils du PLM et du SLM, consistance des données.
Culture et personnes	Accompagnement des interactions entre les disciplines et formation des collaborateurs aux approches PLM et SLM.

Tableau 3-1 Synthèse des interactions PLM-SLM selon le modèle des 5 dimensions

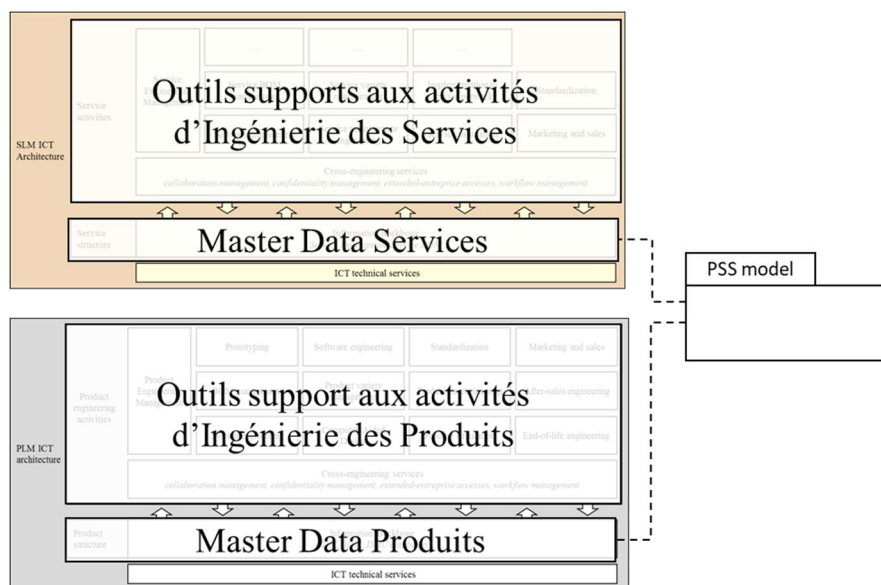


Figure 3-10 Interaction du PLM et SLM pour la dimension d'architecture informatique à travers un modèle

Notamment, les modèles de PSS mettent nécessairement en relation les modèles de produits du PLM et les modèles de service du PLM, comme présenté en Figure 3-10. Les données produites et modifiées durant l'ingénierie des PSS portent à la fois sur les produits et services développés, mais aussi

sur l'organisation des activités d'ingénierie (planification, assignation des tâches aux personnes, suivi de workflow d'ingénierie). Ces données sont hébergées dans les *master data*. L'interaction entre PLM et SLM nécessite une modélisation commune des données mises en œuvre dans les activités d'ingénierie de produits et services. Dans la proposition, le modèle de PSS permet de supporter la jointure entre ces deux *master data*, comme présenté en Figure 3-10.

3.1.3.2. Dimension processus et méthodes

Le PSS est développé et géré par des processus communs. En regard de l'état de l'art, c'est le SLM qui supporte le développement des PSS. Cependant, le développement de PSS se base en partie sur des éléments produit et implique la spécification de systèmes de produit. Les processus et méthodes d'ingénierie du PSS sont donc centrées sur le SLM mais impliquent des interactions avec les processus et méthodes du PLM pour la spécification des produits.

Dans ces processus et méthodes de développement, l'état de l'art nous porte à étudier la gestion de la diversité ainsi que l'utilisation des pratiques d'architecture des systèmes.

La structuration des travaux en plusieurs niveaux permet d'aborder cette dimension plus en détail en deuxième sous-partie du chapitre de proposition.

3.1.3.3. Dimension structure

Comme présenté en Figure 3-10, la proposition comporte une modélisation du PSS. Cette modélisation permet de définir les structures de PSS en tant que pivot entre les modélisations de produit et les modélisations de service. En d'autres termes, la dimension structure du PLM est associée à la dimension structure du SLM à travers un modèle de PSS.

Ces éléments sont précisés dans la troisième sous-partie du chapitre de proposition, à travers un approfondissement des modélisations de PSS proposées

3.1.3.4. Dimension culture et personnes

Au niveau du facteur humain, le développement de PSS, traduit par la dualité PLM et SLM, montre une interaction nécessaire des personnes développant produits et services. Alors que le développement de produits automobile se base sur une expérience déjà en place pour un constructeur automobile, le développement des services implique des personnes en provenance de domaines plus informatiques ou commerciaux. A cette dimension, l'interaction entre PLM et SLM se traduit pour nous en un point d'attention particulier qui est la pluridisciplinarité des acteurs dans le développement des PSS. Ce point d'attention est couvert par le critère d'intégration des parties prenantes du développement.

Ces interactions permettent de définir en premier lieu comment le PLM et le SLM supportent le développement des PSS. Les dimensions des processus et méthode et des structures sont détaillées plus loin dans la proposition. Néanmoins, avant d'aborder ces aspects, il reste nécessaire de préciser le centrage du PLM et du SLM, c'est-à-dire quels éléments de structure du PSS sont supportés par quelle approche. Pour cela, nous nous appuyons sur le cycle de vie du PSS, ainsi que sur ses composants que nous considérons au nombre de trois : les produits, les services et les infrastructures.

3.1.4. Cycle de vie des PSS et répartition produit-service

Le cycle de vie du PSS est partiellement composé du cycle de vie des produits et des services. Dans un premier temps, le PSS est considéré dans son ensemble par le besoin auquel il répond, sans différencier nécessairement les éléments de produit et de service, c'est l'idéation du PSS présentée en Figure 3-11. Le concept de PSS retenu est fixé à la fin de cette phase, ce qui est suivi par la phase de conception préliminaire au cours de laquelle les principes de solution du PSS sont retenus. Ensuite, le PSS est décomposé en éléments de produits et de service. Le développement détaillé est différencié entre le produit et le service. Le produit est ensuite fabriqué et acheminé à son point de vente. Le service quant à lui est développé et les infrastructures sont préparées pour son implémentation. Enfin, le PSS est contractualisé, c'est l'achat du produit avec les services associés (par exemple, un contrat de maintenance), l'abonnement à un service réalisé par un produit (par exemple, l'abonnement à un service de mobilité urbaine) ou d'autres formes de transaction financières. Le PSS est ensuite réalisé. Durant cette phase de réalisation ou d'usage du produit, de nombreuses interactions entre le fournisseur et le consommateur peuvent déclencher de nouvelles contractualisations. Enfin, le PSS est retiré du service.

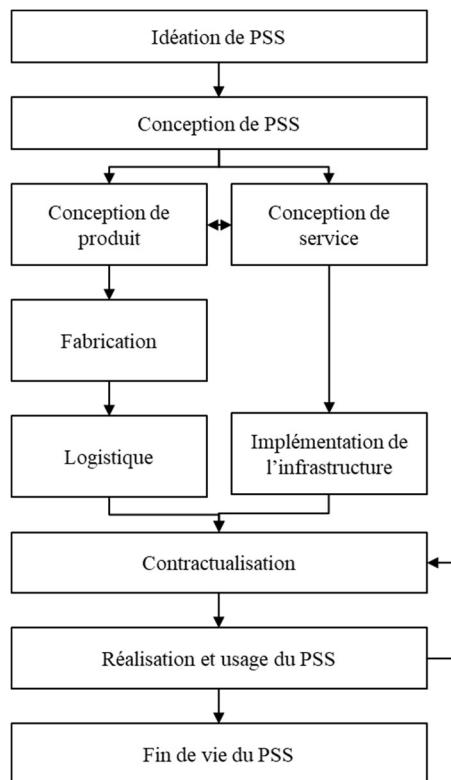


Figure 3-11 Cycle de vie des PSS

Ce cycle de vie de PSS permet de positionner comment le PLM et le SLM supportent l'ingénierie du PSS. Plus précisément, la Figure 3-12 détaille les phases du cycle de vie qui touchent à l'environnement produit (gris sur la figure) ou à l'environnement service (jaune sur la figure). Pour bien comprendre la répartition proposée, il est nécessaire de repréciser ce qui est considéré, dans ces travaux, comme un produit ou comme un service.

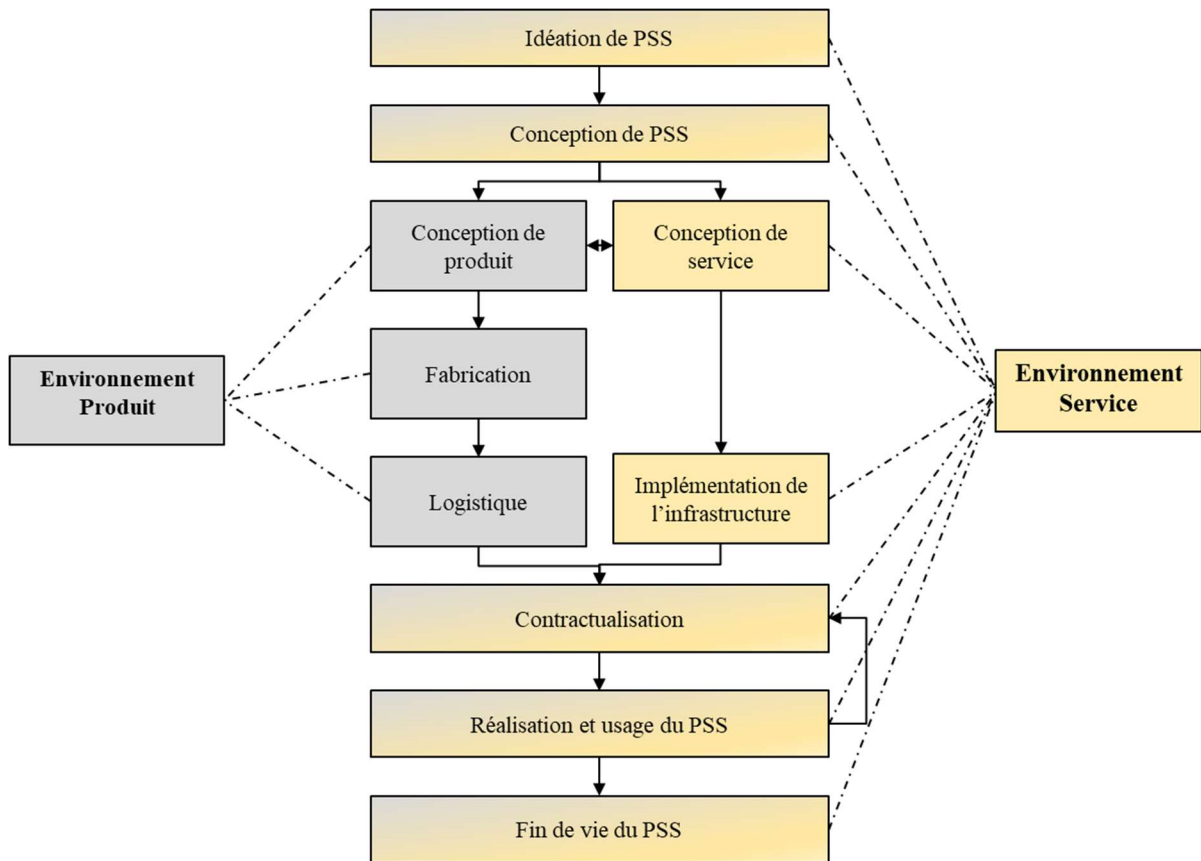


Figure 3-12 Positionnement des environnements produit et service sur le cycle de vie du PSS

La dichotomie entre produits et services n'est pas évidente. Un premier critère de différenciation est la matérialité de l'entité considérée. Alors que le produit est nécessairement physique, le service est nécessairement intangible. Cependant, un service peut utiliser des éléments physiques d'un objet afin de délivrer sa fonction, les infrastructures. Dans la conceptualisation de (Hara et al., 2014), la réalisation d'un service consiste à délivrer un « *service content* » (qui peut être de type matériel, énergie ou information) à travers des éléments physiques « *service channel* » qui transfèrent, amplifient et contrôlent les « *service content* ». Dans le cas des PSS automobiles, un service repose sur des objets physiques de deux types : le véhicule ou les infrastructures de service (voir Tableau 3-2).

Eléments physiques (« <i>service channel</i> »)	« <i>Service contents</i> »
Véhicules	Services reposant sur les véhicules
Infrastructures de service	Services reposant sur les infrastructures

Tableau 3-2 Eléments physiques et intangibles du PSS

C'est cette relation du service au produit qui va supporter la distinction entre les entités considérées dans l'environnement de produit (PLM) et de service (SLM).

Dans une démarche de conservation de l'existant, les éléments physiques du type « véhicule » sont supportés par les approches d'environnement produit, c'est-à-dire le PLM pour la conception et l'ERP pour les flux physiques avant-vente. Dans l'état de l'art, nous avons établi que les infrastructures sont définies d'après des attributs de ressource du service. En termes de logique des modélisations, ils

sont donc associés aux éléments de service. La conception des infrastructures de service est donc supportée par l'approche orientée service, le SLM.

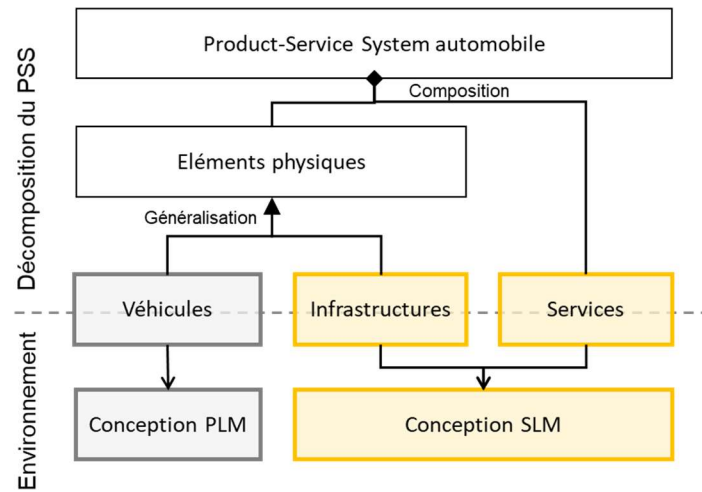


Figure 3-13 Décomposition du PSS en véhicules, infrastructures et services et intégration des composantes du PSS dans les approches PLM et SLM

Enfin, le PSS étant un système, ses composants sont en interaction. Il est nécessaire de gérer ces interactions sur le cycle de vie du PSS, en particulier sur les phases de conception. En effet, lors de son usage, un PSS automobile implique de nombreuses relations entre le véhicule et les services. Les processus de développement de PSS proposés ci-après s'appliquent à identifier comment le développement des PSS supporte ces interactions.

La Figure 3-14 présente comment la distinction entre produits et services s'applique aux approches PLM et SLM. À son niveau stratégique, l'entreprise planifie les offres de véhicules et de PSS qu'elle souhaite développer et mettre sur le marché. Suite à cette planification des offres, le développement des véhicules est supporté par l'approche PLM existante et le développement des PSS est supporté par l'approche SLM proposée. Le développement de véhicules reçoit des spécifications issues du développement du PSS. Le développement de PSS permet de concevoir et implémenter des services jusqu'à leur usage et leur fin de vie. Pour cela, le service lui-même est développé, ainsi que les infrastructures support au service. C'est autour de ce cycle de développement du PSS supporté par le SLM que se concentre la proposition de ces travaux.

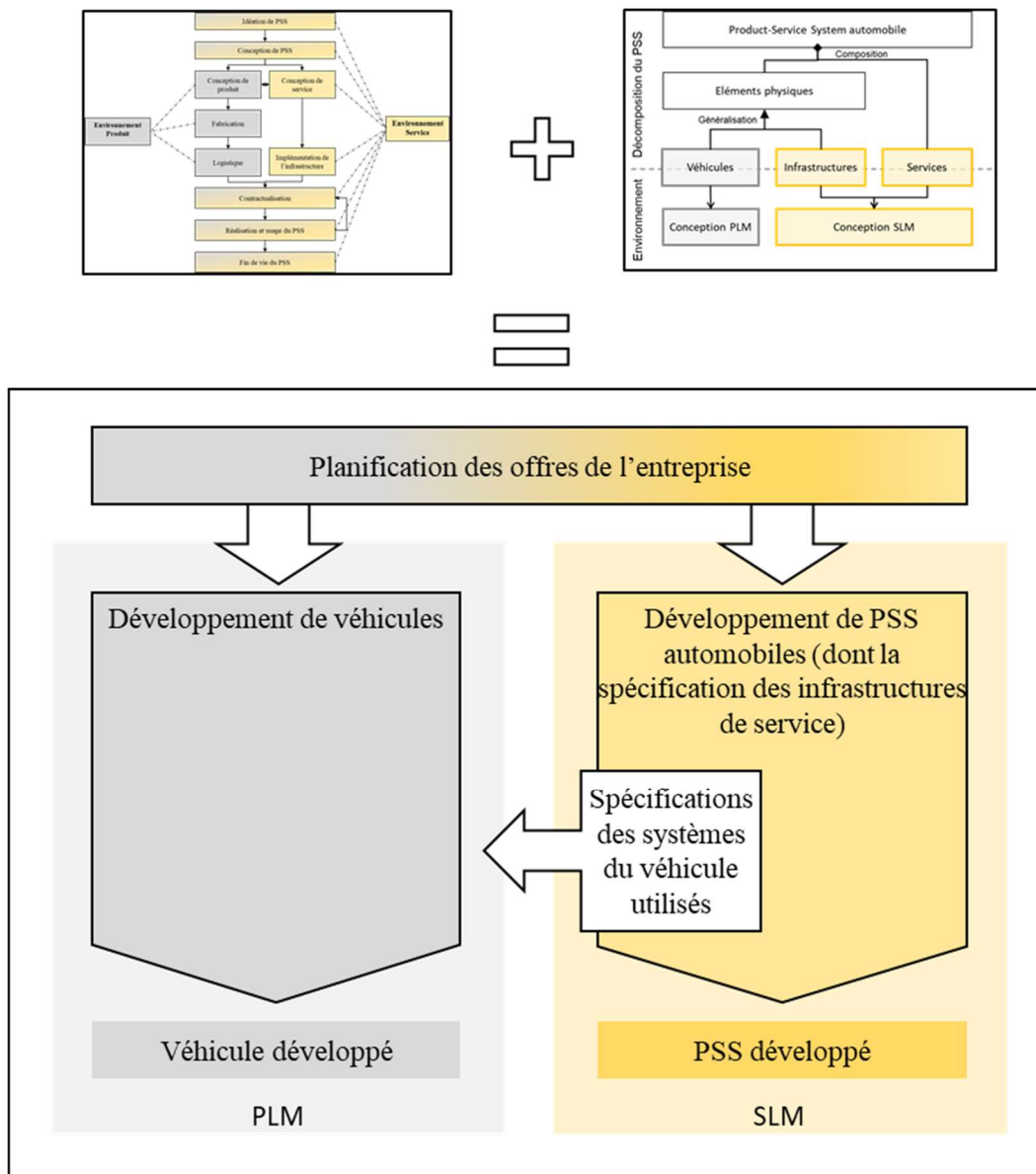


Figure 3-14 Schéma d'interaction entre PLM et SLM pour le développement des PSS

Dans cette section, le cycle de vie d'un PSS automobile a été présenté. Puis, les phases de ce cycle de vie ont été réparties entre environnement produit et environnement service. Dans une logique d'évolution des approches existantes, que nous opposons à une logique de rupture, nous avons montré que les services (intangibles) et les infrastructures support (tangibles) ont vocation à être développées dans une approche SLM, alors que les véhicules continuent à être développés dans une approche PLM. Pour harmoniser ces développements, les processus de conception ont besoin d'être structurés autour de méthodes et outils. La section suivante s'attache à présenter ces derniers.

3.2. Proposition au niveau des processus, méthodes et outils

Dans la section précédente, les approches d'ingénierie considérées pour le développement des PSS ont été présentées et articulées. Dans cette section, les processus, méthodes et outils nécessaires à la mise en œuvre sont présentés et s'intègrent dans les orientations qui ont été proposées au niveau des approches d'ingénierie, comme synthétisé sur la Figure 3-15.

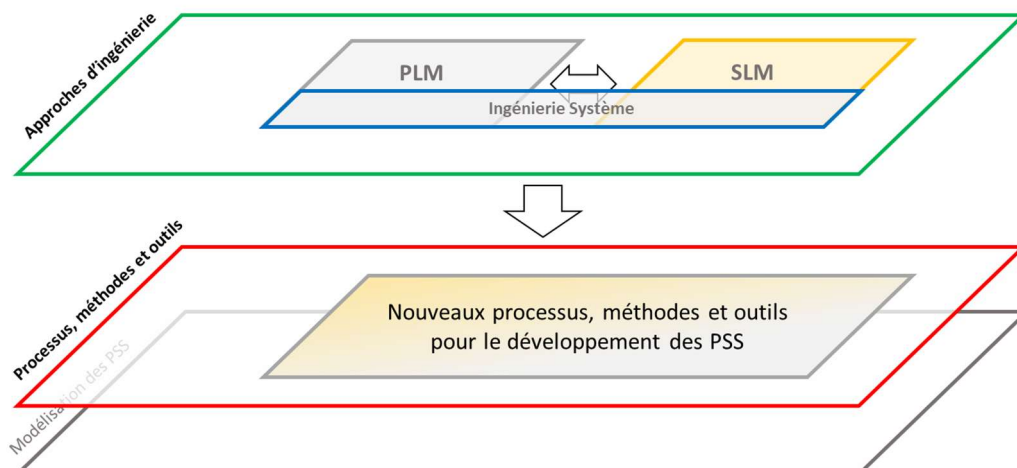


Figure 3-15 Les choix de proposition au niveau des approches d'ingénierie impactent la proposition au niveau des processus, méthodes et outils.

3.2.1. Processus global pour le développement des PSS

Dans cette section, un avant-propos relatif au périmètre d'application de la proposition est présenté. Puis, la structure de la proposition est introduite. Puis, après avoir énoncé sur la base de quelles informations cette proposition est née, le processus global de développement est présenté.

Le champ des possibles en termes d'activités d'ingénierie des PSS est vaste et de nombreuses pratiques s'inscrivent dans le domaine de l'ingénierie des PSS. Dans l'optique d'une démarche pragmatique, il est nécessaire de préciser que les enjeux particuliers auxquels la proposition répond sont issus à partir d'un ensemble de besoins spécifiques à l'ingénierie des PSS automobiles et de leurs problématiques industrielles principales.

Les apports de la proposition sont présentés en 3 parties pour la dimension des processus, méthodes et outils d'ingénierie, comme illustré sur la Figure 3-16. Dans un premier temps, le processus d'ingénierie des PSS automobiles proposé est présenté. Le processus intègre des méthodes particulières d'ingénierie système et de gestion qui sont précisées ensuite. Dans un second temps, la démarche de conception des systèmes de PSS est présentée. Enfin, une troisième partie se focalise sur la gestion de la diversité des PSS.

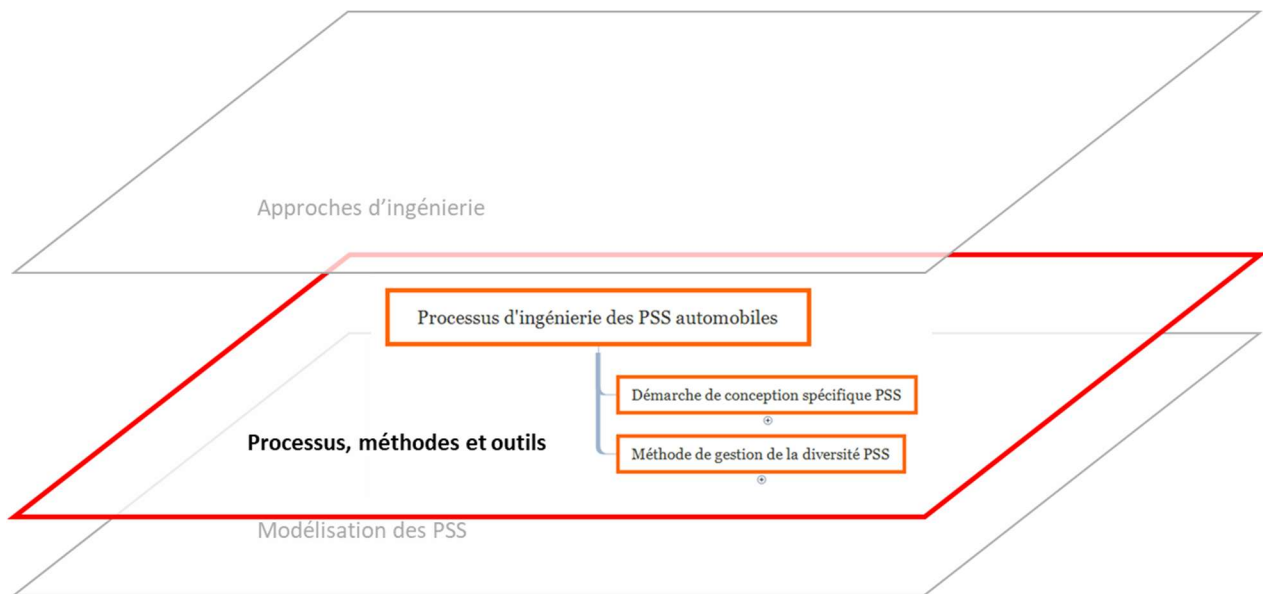


Figure 3-16 Apports principaux de la proposition pour les processus méthodes et outils.

Afin de définir quelles sont les fonctions auxquelles répond la proposition, les besoins d'ingénierie des services ont été recensés puis généralisés et formalisés dans la Figure 3-16. Les besoins se regroupent en deux domaines : le développement de PSS et l'opération des PSS. On retrouve ainsi pour le développement une importance sensible de la formulation des besoins, à travers la prise en compte des parties prenantes, des besoins du client du PSS et des aspects réglementaires. Les différentes phases du cycle de vie du PSS sont aussi à prendre en compte pour le développement, notamment issu du fait que le PSS que le constructeur doit mettre en place les moyens nécessaires à sa réalisation, être acteur de son usage et assurer le maintien du fonctionnement du PSS.

Le PSS présente quelques spécificités que nous avons mentionnées en contexte et qui se traduisent dans les besoins d'ingénierie des services. Un fait nouveau pour le constructeur dans le développement des PSS est l'importance des infrastructures de service. Au-delà du garage, le constructeur met en place des systèmes d'information support aux services, notamment pour les services connectés. De plus, la prospective sur les offres de PSS automobiles démontre la nécessité d'interagir avec des infrastructures extérieures au constructeur automobile, comme par exemple des infrastructures urbaines qui ne sont pas gérées par les constructeurs. La diversité des produits et des services doit être maîtrisée pour optimiser les phases de développement et de gestion des PSS. Enfin, l'ingénierie des PSS automobiles implique de prendre en compte de nombreuses interactions entre le véhicule et les services réalisés, qui sont principalement des interactions dynamiques entre ces deux parties, c'est-à-dire que les états et utilisations du véhicule et des services s'impactent mutuellement.

Parmi les besoins en termes de développement, afin de rationaliser le développement des briques élémentaires du PSS, il est nécessaire de le détailler en composants de type produit (i.e. parties du véhicule) et de type service. Cela permet de répartir le développement du PSS en activités spécialisées et appréhendables par des équipes de développement. De plus, la réutilisation de composants à travers différents PSS peut s'appuyer sur leur description en composants élémentaires. Enfin, les PSS sont des systèmes complexes impliquant de nombreuses interactions, pour cette raison les phases de vérification, intégration et validation sont nécessaires pour assurer que le système global répond bien aux exigences et corriger les éventuels écarts.

Concernant l'opération des PSS, il est possible de déterminer un certain nombre de besoins d'ingénierie qui pourront d'ailleurs évoluer par la suite. Principalement, le PSS enrichit la part logicielle des offres du constructeur. Or, sur le cycle de vie d'un véhicule ou d'un service, il peut être nécessaire de lui apporter des mises à jour logicielles. La maîtrise des données d'usage est aussi un besoin d'ingénierie. Les données peuvent être des éléments nécessaires à la réalisation d'un PSS et doivent être considérées dans le développement. De plus, les données d'usage du PSS reflètent un domaine valorisable pour le constructeur, en lui permettant de configurer ses offres en fonction du profilage des clients, de récupérer des retours quant à la réalisation effective des PSS et d'améliorer ces PSS.

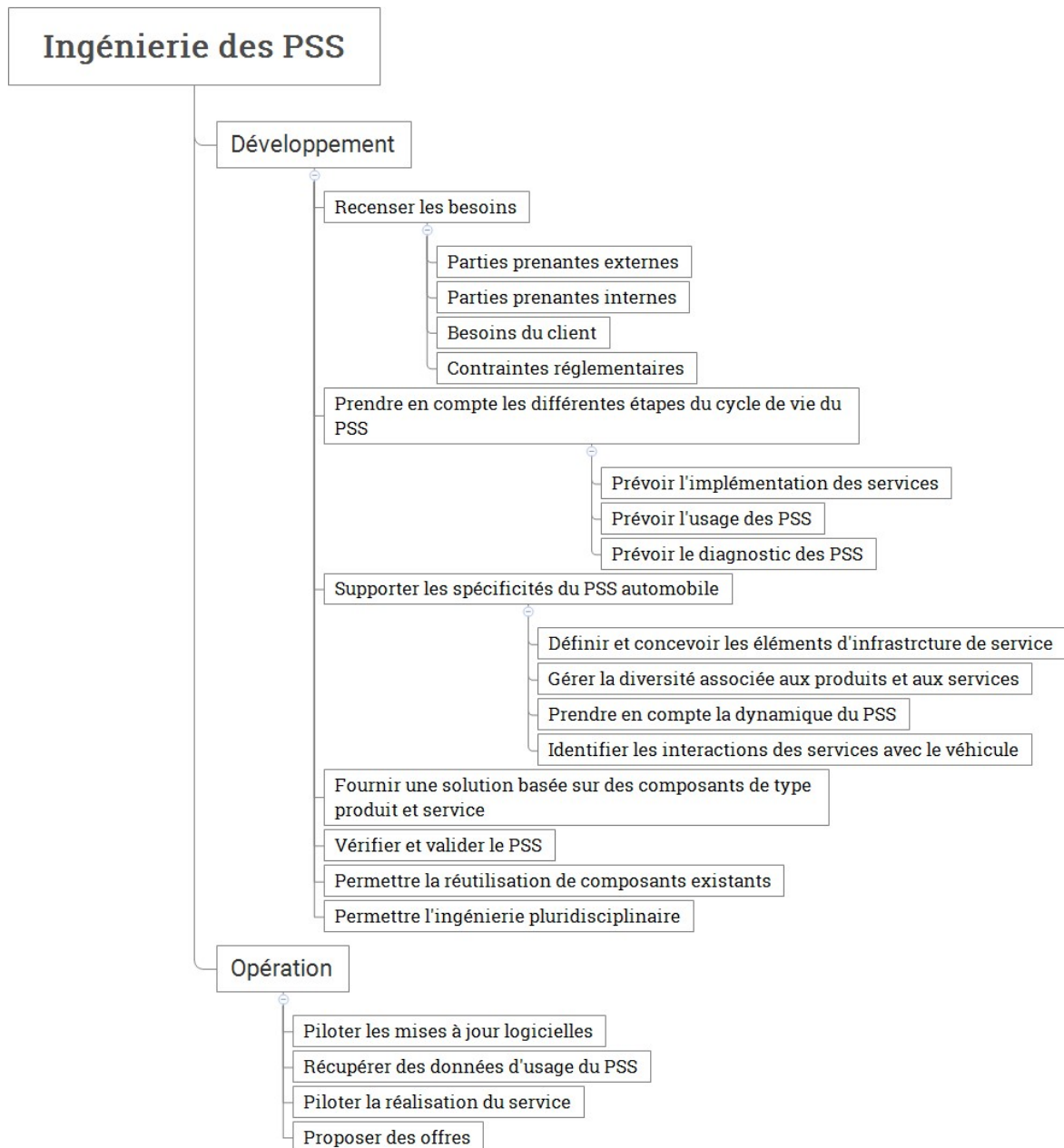


Figure 3-17 Carte heuristique des besoins exprimés d'ingénierie des PSS

Ces éléments de la proposition ont été construits grâce à deux sources. La première provient d'une veille continue sur les sujets des services connectés automobiles et les processus associés qui a permis de cibler le sujet et des enjeux principaux pour l'entreprise. La seconde source provient, en parallèle, d'interviews semi-directives avec des acteurs du développement des services connectés. Elles ont permis de préciser la proposition, ajuster son orientation et la confronter aux enjeux réels mais aussi aux enjeux long terme. Ces derniers portent à la fois sur la planification des technologies, mais aussi de l'organisation support au développement des PSS, ainsi que sur la planification des offres commerciales.

Tous ces besoins sont pris en compte dans la proposition des processus qui est présentée ensuite. Les processus d'ingénierie système sont complexes et doivent être créés ou adaptés afin de correspondre aux besoins des parties prenantes (INCOSE, 2015). Pour répondre à cet ensemble de besoins exprimés, le processus de développement proposé se base sur les contributions de l'état de l'art et intègre les aspects suivants :

- Le PSS est considéré comme un système à développer. Dans le processus de développement, les représentations du PSS évoluent à travers les activités d'ingénierie, dans une démarche globale issue du cycle en V et avec un degré de détail croissant. Le PSS est développé en partant des besoins exprimés. Basée sur les besoins, l'architecture du PSS est modélisée, ce qui permet de détailler les choix de solution réalisés. Lorsqu'un certain niveau de détail est atteint, les éléments de solution sont discriminés selon leur nature : certains seront des composants de type véhicule et d'autres seront des composants de type service. C'est un découpage fonctionnel qui articule la décomposition du PSS en éléments de produit et de service. Les composants de PSS sont développés séparément. Une phase d'intégration et de validation permet ensuite d'étudier si les composants du PSS interagissent correctement.

- Les descriptions de PSS sont réalisées selon les trois points de vue déterminés dans l'état de l'art : fonctionnel, comportemental et structurel.

- Les exigences sont utilisées à tous les niveaux de détail du développement du PSS. Elles formalisent ce à quoi doit satisfaire la solution, c'est une description du besoin que doit remplir une entité (système, sous-système, composant) dans son environnement. Elles sont formalisées en niveau haut du PSS considéré alors comme une boîte noire, lors des phases amont de recueil du besoin, afin de s'assurer que l'on tend vers l'exhaustivité des besoins pris en compte. Elles permettent aussi de définir les caractéristiques des sous-systèmes ou composants et de guider ainsi le bon fonctionnement des interactions entre ces entités dans le PSS. Elles peuvent être de natures différentes et la proposition reprend la typologie d'exigences de (Berkovich et al., 2012) pour couvrir cette diversité d'exigences. Elles s'appliquent aux définitions de PSS développées selon les points de vue fonctionnel et comportemental : elles permettent de caractériser des fonctions du PSS, mais aussi les comportements. En synthèse, les exigences sont gérées transversalement au développement du PSS et de ses composants.

Le processus global d'ingénierie des PSS est présenté en Figure 3-18, à travers des pratiques issues de l'ingénierie système. La dimension temporelle se déroule du haut vers le bas. La définition des exigences, les architectures fonctionnelles et la validation du système sont mise en œuvre pour définir le PSS et assurer la bonne intégration du développement des composants de produit ou de service.

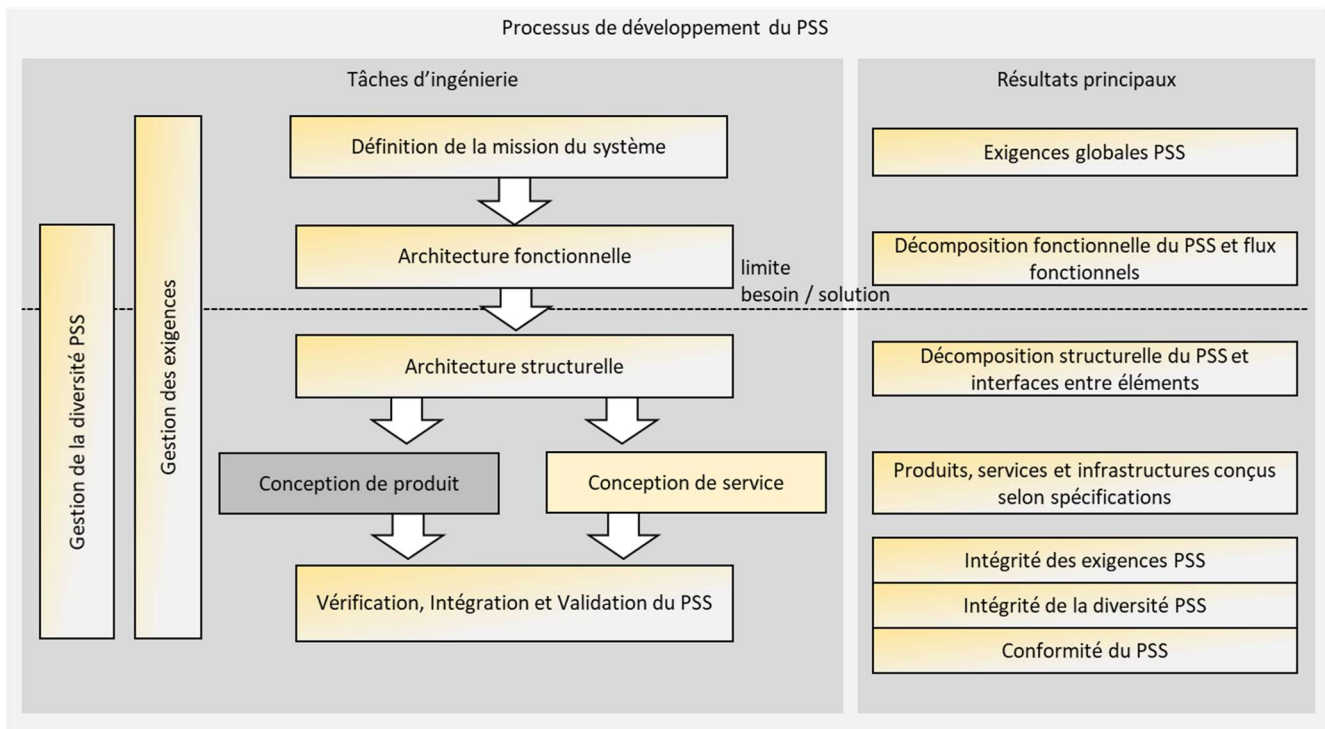


Figure 3-18 Processus global d'ingénierie des PSS proposé

La fonction principale du système est définie au premier niveau puis est détaillée en exigences. Cette étape cruciale permet d'assurer que la solution satisfera les besoins et que les contraintes du système seront intégrées. L'architecture fonctionnelle est la description du système en éléments fonctionnels. Elle utilise un point de vue fonctionnel et met en avant des flux d'information, d'énergie ou de matière, mais s'adosse aussi à une description comportementale du PSS en parallèle. Les sous-systèmes fonctionnels sont associés à des exigences fonctionnelles. L'architecture fonctionnelle permet de déterminer ensuite les sous-systèmes qui seront mis en œuvre pour la solution, d'un point de vue structurel. Cette architecture nommée « structurelle » repose elle aussi sur les descriptions comportementales qui peuvent s'affiner. Les sous-systèmes décrits dans l'architecture structurelle sont attachés à des exigences, qui détaillent les exigences fonctionnelles. Cette architecture structurelle définit les principes de solution, ce qui permet de différencier les composants de type produit ou service. Chacun des composants rentre ainsi dans un cycle de spécification et conception. À cette étape, une formalisation des exigences associées aux composants ainsi que la caractérisation des flux les concernant permet de réutiliser des composants existants.

Dans le développement des PSS automobiles, la clarification des interactions entre les systèmes de produit, les infrastructures et les services est critique pour la conception et la validation du PSS.

Dans cette partie, nous avons défini le processus global de développement de PSS. Nous le détaillons dans la suite à travers les méthodes de conception. Dans un premier temps, nous précisons comment les méthodes de l'Ingénierie Système sont utilisées et adaptées aux orientations déterminées dans l'état de l'art. Dans un second temps, nous nous intéressons particulièrement aux méthodes de gestion de diversité.

3.2.2. Application des méthodes de l'Ingénierie Système dans la conception de PSS

Pour la démarche de conception employée dans le processus d'ingénierie des PSS, la proposition se compose de trois axes. Ces axes mettent en œuvre des concepts courants dans l'Ingénierie et sont adaptés aux observations de l'état de l'art. Premièrement, la définition d'un PSS par le concept d'architecture est présentée. Puis, la relation entre les aspects structurels, comportementaux et fonctionnels du PSS sont explicités. Enfin, le dernier axe présente la mise en œuvre de l'ingénierie des exigences dans la proposition en particulier pour adresser des problématiques de spécification croisées entre produits et services. La Figure 3-19 présente de façon graphique ces trois axes.

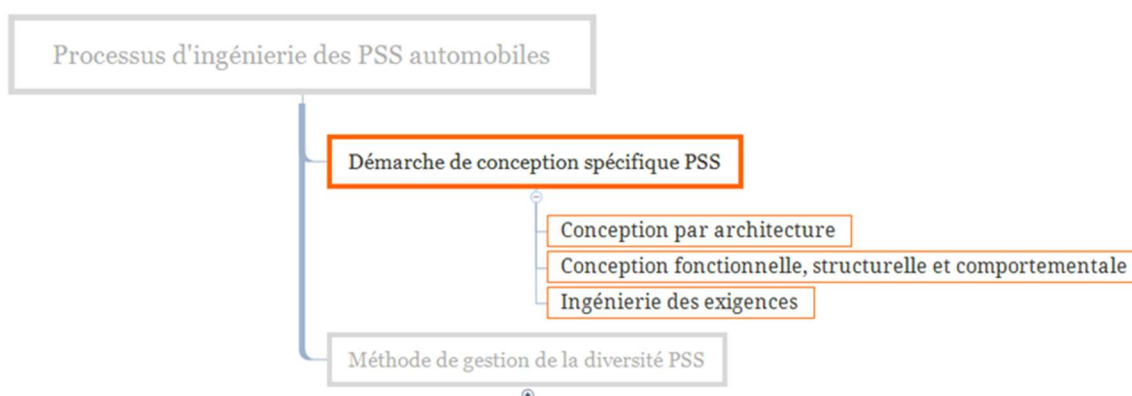


Figure 3-19 Apports spécifiques de la proposition dans la démarche de conception des PSS automobiles

Dans les parties suivantes, les trois axes introduits sont présentés plus en détails.

3.2.2.1. Conception par architectures

L'architecture des PSS a été identifiée dans l'état de l'art comme un élément pertinent pour décrire un PSS de manière à spécifier les composants et leurs interactions. À partir des exigences globales du PSS à développer, différentes architectures décrivent successivement le PSS et raffinent les représentations du PSS. Les architectures du PSS s'inscrivent dans deux domaines : le domaine du besoin et le domaine de la solution.

Le domaine du besoin définit les éléments constitutifs du PSS d'un point de vue fonctionnel sans nécessiter la définition de la solution. Le PSS est constitué d'éléments de système qui peuvent être décrits d'un point de vue comportemental ou structurel.

Le domaine de la solution définit l'architecture structurelle, qui assigne des systèmes et composants réels à l'architecture fonctionnelle. L'étude permettant de réaliser la transition entre architecture fonctionnelle et architecture structurelle est appelée allocation fonctionnelle. Cette allocation permet de passer d'une description du PSS transversale et transdisciplinaire, à une définition du PSS décomposée selon la nature des systèmes et composants à différentes disciplines d'ingénierie.

Les architectures énoncées ici sont présentées plus en détail dans la partie modélisations de PSS.

3.2.2.2. Conception structurelle, fonctionnelle et comportementale

Un PSS est décrit par plusieurs modélisations car les aspects techniques à considérer dans sa conception sont multiples. Les concepts d'architectures structurelles et de composants, classiquement utilisées, sont insuffisants pour prendre en compte les notions de processus des services. La proposition intègre les modèles comportementaux pour décrire les aspects dynamiques des PSS. Les modèles comportementaux s'appliquent à tous les niveaux du PSS, du système principal aux composants, aux architectures fonctionnelles comme structurelles.

Les architectures fonctionnelles et structurelles ainsi que les composants sont les éléments de représentation constitutifs des PSS. Elles représentent les éléments du système ainsi que le lien de composition entre ces éléments. Chacun de ces éléments peut être décrit dans une vue comportementale.

L'utilisation des vues comportementales permet de définir des exigences qui n'apparaissent pas sur les vues structurelles, comme les exigences de flux, d'interface, de process et de ressource. L'ensemble de ces exigences est traité dans un sous-processus d'ingénierie des exigences.

3.2.2.3. L'ingénierie des exigences

L'ingénierie des exigences est mise en œuvre pour structurer les informations de spécification des systèmes et des composants du PSS. Dans la proposition, les exigences sont utilisées pour formaliser le besoin externe au système et les contraintes de spécification internes au système.

Les besoins externes sont issus des fonctions du système qui apportent un bénéfice à l'utilisateur et issus des contraintes des milieux extérieurs telles que la législation, la résistance aux milieux de fonctionnement, etc. Les contraintes de spécifications internes au système sont des contraintes déclarées dans le but d'assurer le bon fonctionnement du système, par exemple pour spécifier les interfaces entre les sous-systèmes.

À l'image de la méthode d'ingénierie par exigences RDMod présentée dans l'état de l'art, les exigences sont exprimées à tous les niveaux de décomposition du système et spécifient l'ensemble des caractéristiques d'un système ou d'un composant auxquels ils doivent répondre. Elles sont liées entre elles hiérarchiquement par une relation de décomposition. Il est nécessaire de déterminer comment ces exigences sont liées aux architectures fonctionnelles, comportementales et structurelles.

Dans cette partie, nous avons décrit le cœur du processus de développement des PSS. En parallèle du développement de PSS, nous proposons des méthodes pour gérer la diversité des PSS.

3.2.3. Gestion de la diversité des PSS

La gestion de la diversité se distingue en au moins deux problématiques : comment décrire la diversité et la configuration d'un système et quel outils informatiques mettre en place pour gérer le volume et la complexité des données possibles. Cette partie calculatoire ne fait pas partie du travail de thèse. Dans la suite, la proposition de méthode de gestion de la diversité permet de décrire la diversité des PSS et de déterminer la configuration des systèmes intégrant de la diversité.

Dans la partie suivante, nous désignons « méthodes de gestion de la diversité » les méthodes permettant de décrire les informations spécifiques à la déclinaison d'un système en variantes et permettant de structurer les associations entre les variantes des systèmes.

La méthode de gestion de diversité est présentée en deux axes sur la Figure 3-20. Le premier axe consiste en la description des facteurs de la diversité des PSS et de la manière dont celle-ci est formalisée dans la proposition. Le second axe propose des éléments pour la gestion de la configuration des systèmes à diversité. Cette étape permet aux équipes de développement d'un PSS de déterminer et structurer les différentes associations entre les composants des PSS.

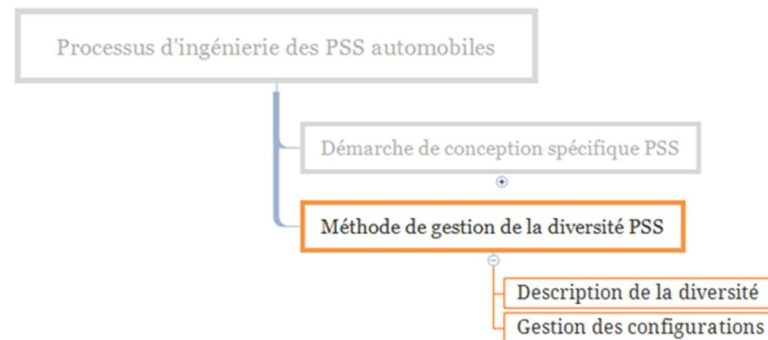


Figure 3-20 Proposition de méthode de gestion de la diversité des PSS déclinée en deux axes

La gestion de la diversité des produits est supportée par de nombreuses méthodes de la littérature. Ces méthodes permettent d'associer les variantes de produit et de services entre elles. Cependant, nous avons identifié qu'il était pertinent de définir la diversité en caractérisant les facteurs de diversité des variantes elles-mêmes et pas uniquement leurs associations. Dans la suite, nous présentons comment nous traitons la diversité des PSS.

3.2.3.1. Les facteurs de diversité des PSS

La diversité des PSS est issue de plusieurs contraintes. Par exemple, le pays de commercialisation d'un PSS peut impliquer la création de variantes pour s'adapter aux spécificités locales. La méthode de gestion de diversité permet de réaliser la correspondance entre des variantes de PSS (systèmes, sous-systèmes et composants) et les contraintes de l'environnement du PSS. Ces contraintes réduisent et précisent dans quels cas d'application une variante est utilisée. La gestion de la diversité est nécessaire à la gestion de configuration des véhicules, dans la mesure où elle permet de déterminer une composition de PSS en regard des contraintes qui lui sont associées. Les contraintes prises en comptes sont résumées dans le Tableau 3-3.

La diversité des contraintes démontre la nécessité de gérer cette diversité à toutes les étapes du développement de PSS. Par exemple, alors que les contraintes de stratégie de PSS impactent les choix de conception dans les premières phases de développement, des contraintes de fabrication émergent plus en aval du processus, tout comme les contraintes de jalonnement qui peuvent avoir lieu dans la mise à jour d'un PSS déjà commercialisé. Les contraintes impliquant de la diversité ont lieu tout au long du cycle de vie du PSS. La méthode de gestion de la diversité doit alors permettre de définir et exploiter ces informations de diversité à toutes les étapes du cycle de vie. Dans la proposition, la gestion de la diversité des produits et services a lieu de manière transversale tout au long du processus de développement.

Contraintes portant sur les véhicules	Description
Personnalisation client	Issues de la volonté de proposer plusieurs variantes d'un produit pour satisfaire la variété des besoins des clients
Techniques véhicule	Issues de la compatibilité technique entre certains systèmes et composants
Fabrication	Issues du fait qu'un même modèle de véhicule peut être fabriqué dans différentes usines avec des processus de fabrication et des approvisionnements différents
Jalonnement du véhicule	Issues du fait qu'un même véhicule peut recevoir des pièces différentes selon sa date de fabrication ⁹
Fonctionnement	Se rapportent aux conditions de fonctionnement d'un système ou composant du véhicule
Contraintes portant sur les services	Description
Personnalisation client	Issues de la volonté de proposer plusieurs variantes d'un service pour satisfaire la variété des besoins des clients
Techniques de services	Issues de la compatibilité technique entre certains sous-systèmes
Implémentation en infrastructures	Issues de l'adéquation entre un service et des infrastructures support
Évolution du service	Issues des évolutions des services au cours du temps. Les services peuvent évoluer pour intégrer de nouveaux usages, de nouvelles infrastructures, etc.
Réalisation	Issues des conditions nécessaires à la réalisation d'un service (préconditions, infrastructures etc.)
Contraintes portant sur les PSS	Description
Stratégie PSS, produits ou services	Déterminent quelles options sont disponibles à la vente
Technico-législatives	Issues des standards et réglementations en vigueur

Tableau 3-3 Les contraintes en œuvre dans la gestion de la diversité

3.2.3.2. La structuration des informations de diversité

La gestion de la diversité s'effectue selon une démarche descriptive et/ou associative. La démarche descriptive propose de caractériser les variantes de manière explicite invariablement à une configuration donnée. Ces caractérisations permettent d'effectuer une discrimination entre les variantes d'un même système ou composant selon une contrainte de diversité. (JC. Aurich et al., 2009) mettent en œuvre cette démarche avec la matrice croisant les variantes des systèmes et les caractéristiques du

⁹ La définition technique des véhicules évolue dans le temps avant et après le lancement des véhicules. Par exemple, les véhicules de pré-série sont fabriqués pour valider les procédés de fabrication et commercialisés par la suite. Ou encore, des évolutions réglementaires, des changements de fournisseurs ou l'optimisation des coûts peuvent impliquer de nouvelles variantes de composants.

cycle de vie des PSS. Par exemple, le module « interface multimédia » possède plusieurs variantes dont une caractéristique discriminante est la taille de l'écran, qui peut prendre les valeurs « 5 INCH » pour la première variante et « 8 INCH » pour la seconde variante.

La seconde démarche, associative, consiste à assigner des applicabilités entre les variantes des composants d'un système, lors de sa configuration. (JC. Aurich et al., 2009) mettent en œuvre cette applicabilité par la matrice croisant les variantes des systèmes qui sont compatibles entre elles. Il s'agit par exemple de formaliser le fait que certaines variantes de moteur s'associent avec certaines variantes de systèmes de refroidissement. Cette démarche porte uniquement l'information de l'applicabilité des variantes entre elles, mais ne caractérisent pas ces variantes elles-mêmes. Par exemple, la variante « diesel » du module « moteur » n'est pas compatible avec la variante « véhicule électrique » du module « châssis », alors que la variante « électrique » du module « moteur » est compatible avec la variante « véhicule électrique » du module « châssis ».

En synthèse, la démarche associative est mise en œuvre pour décrire la configuration d'un système donné, alors que la démarche descriptive est mise en œuvre indifféremment des configurations des systèmes. La description de la diversité des systèmes permet une information riche et réutilisable à travers plusieurs configurations, elle peut être exploitée pour réaliser l'association des variantes lors d'une configuration.

La méthode de gestion de la diversité proposée met en œuvre ces deux démarches. La démarche associative est mise en œuvre au niveau des architectures fonctionnelles et organiques des systèmes, tandis que la démarche descriptive est mise en œuvre au niveau des systèmes ou des composants, lors de leur définition. Le Tableau 3-4 présente les choix de correspondance entre contrainte de diversité et démarche employée pour leur description.

Contraintes portant sur les véhicules	Démarche
Techniques véhicule	Associative
Fabrication	Associative
Jalonnement du véhicule	Associative
Fonctionnement	Descriptive
Contraintes portant sur les services	Démarche
Techniques de services	Associative
Implémentation en infrastructures	Associative
Évolution du service	Descriptive
Réalisation	Descriptive
Contraintes portant sur les PSS	Démarche
Stratégie PSS, produits ou services	Associative
Technico-législatives	Associative

Tableau 3-4 Correspondance entre contraintes et démarches

Un lexique de diversité est utilisé pour décrire la diversité des systèmes. Plus précisément, plusieurs facteurs de diversité sont regroupés selon leur nature. Reprenant le vocabulaire et les concepts de l'entreprise Renault, une famille regroupant des facteurs de diversité est nommée « objet », semblable au « *feature attribute* » défini par (Schuh et al., 2017). Les différents facteurs composants un objet sont nommés « critères », comme illustré en Tableau 3-5.

Objet	Côté de conduite		Climat			Génération Téléphonie			
	Conduite à gauche	Conduite à droite	Climat chaud	Climat tempéré	Climat froid	2G	2,5G	3G	4G
Critère									

Tableau 3-5 Illustration des objets et critères de diversité

3.2.3.3. Méthode de gestion de la configuration

Cette méthode a pour objet de définir les différentes configurations des systèmes, c'est-à-dire de décrire les associations entre variantes du système.






En termes de diversité, l'objectif de la proposition est d'associer la diversité des produits, qui est gérée dans le PDM et la diversité des services. Plus précisément, maîtriser la diversité des PSS permet d'offrir un choix important aux clients, tout en minimisant les coûts de développement, de production ou de réalisation des PSS. Dans le cadre de la *Mass Customization*, (Tseng et al., 1996) traduisent ces enjeux en critères qu'une approche de gestion de la diversité doit remplir : optimiser la mise en commun de composants, structurer le développement autour d'une *Product Family Architecture* commune aux différentes variantes et faciliter l'intégration transversale de la gestion de la diversité sur tout le processus d'ingénierie du système.

Dans cette partie, nous avons présenté comment la gérer la diversité des PSS dans la proposition, en associant aux éléments de type produit et services des variantes décrites par un lexique de diversité. Nous précisons comment cette méthode se traduit dans la section consacrée aux modélisations du PSS.

3.2.4. Réponse aux critères d'analyse pour les processus, méthodes et outils

Nous proposons dans la suite de présenter les apports de l'ensemble de la proposition au niveau des processus, méthodes et outils à travers les critères d'analyse et en regard des manques de l'état de l'art.

Lors de l'analyse de l'état de l'art, nous avons synthétisé les contributions et identifié des manques pour répondre à la problématique, en fonction des critères d'analyse. Nous reprenons cette grille de lecture pour qualifier la proposition au niveau des processus, méthodes et outils.

Critère d'analyse	« Les processus, méthodes et outils doivent permettre de... »	Limites identifiées dans l'état de l'art	Réponse dans la proposition
	Réaliser en parallèle le développement de véhicules et d'offres de PSS. Développer des PSS comme un système cohérent possédant son cycle de vie, spécifier les produits et les services qui composent le PSS de manière différenciée.	Les méthodes de conception doivent s'appuyer sur une distinction entre produits et services et définir les interactions entre produits et services lors du développement.	Dans la proposition, le véhicule est géré comme un produit, sur son cycle de vie historique, dans l'approche PLM. Les services et les infrastructures de services sont supportés dans l'approche SLM. La méthode de conception par architectures permet de mettre en œuvre cette distinction. Le véhicule conserve ses méthodes de développement sur son cycle de vie, mais peut recevoir des spécifications issues du développement de PSS.
	Décomposer le PSS en plusieurs niveaux de définition	La décomposition du PSS doit se traduire dans les modélisations du PSS	Le processus de développement se base sur une logique d'architecture du PSS, qui articule le développement autour de la décomposition successive du PSS. La notion d'architecture est développée dans les modèles de PSS.
	Mettre en œuvre la gestion de diversité produit-service. Décrire et associer différentes variantes de produits et services ainsi que leurs associations	Les contributions de la littérature ne traitent pas de la manière dont la diversité des PSS s'intègre aux processus de développement Il est nécessaire de proposer des méthodes pour maîtriser cette diversité dans une démarche de développement. Il est nécessaire de décrire la diversité des variantes à travers une caractérisation des variantes issues d'un référentiel commun plutôt que via des associations entre variantes.	Dans la proposition, la diversité est gérée par un processus transversal dans le développement de PSS. Des méthodes de configuration permettent d'associer les différentes variantes du système ensemble. La diversité est décrite par des critères de diversité appliqués aux éléments du PSS à ses différents niveaux. Ces critères sont regroupés par objets et définis dans un lexique de diversité.
	Maîtriser les aspects comportementaux des PSS, y compris la capacité de les configurer lors de leur réalisation selon les paramètres d'usage	Il est nécessaire de détailler les vues comportementales aux différents niveaux du PSS	Les aspects comportements sont proposés en parallèle des architectures fonctionnelles et structurelles. Les comportements sont décrits depuis le plus haut niveau du PSS jusqu'aux composants. La gestion de la diversité est liée aux aspects dynamiques des PSS : selon des états de fonctionnement, le PSS va mettre en œuvre différentes variantes de service. Pour cela, les fonctions sont déclinées en variantes qui permettent de composer différents scénarios de PSS, par exemple pour adapter les services aux états du système.
	Développer les infrastructures comme des sous-systèmes du PSS et permettre l'utilisation des infrastructures existantes	Il faut définir comment les infrastructures de PSS sont intégrées dans les processus de développement	Les architectures structurelles intègrent les infrastructures de service. Leur développement se décline dans la phase de conception détaillée des services.



	<p>Organiser l'interaction entre les différentes parties prenantes lors du développement du PSS</p> <p>Recueillir les besoins des différentes parties prenantes et intégrer les parties prenantes dans le développement des PSS</p>	<p>Les parties prenantes du cycle de vie du PSS doivent être prises en compte dès le début de la conception du PSS et lors du développement des PSS.</p>	<p>L'utilisation des exigences en niveau haut de PSS permet de formaliser les besoins des parties prenantes et de les induire aux niveaux de décomposition suivants, ainsi que de structurer leur validation en fin de développement. La pluridisciplinarité est supportée par l'allocation fonctionnelle qui permet d'attribuer le développement à des expertises spécifiques. Les exigences sont décrites transversalement au processus et permettent de partager les spécifications de conception aux parties prenantes</p>
	<p>Définir les données récoltées et comment elles sont échangées, structurées, stockées et traitées.</p>	<p>Il faut déterminer comment les données d'usage sont prises en compte dans le développement des PSS.</p>	<p>La gestion des données d'usage se traduit par des fonctions internes aux PSS et des solutions de service.</p>

Tableau 3-6 Réponse aux critères d'analyse pour les processus, méthodes et outils d'ingénierie

Dans ce qui précède, nous avons présenté la proposition au niveau des processus, méthodes et outils d'ingénierie des PSS. La proposition s'articule autour d'un processus d'ingénierie auquel nous associons des méthodes d'ingénierie des exigences et des méthodes de gestion de la diversité. Elle trouve en parallèle des modèles de PSS qui permettent de le décrire et de supporter son développement.

3.3. Proposition de modélisation du PSS

L'objet de cette partie est de proposer une modélisation cohérente intégrant les concepts identifiés dans l'état de l'art. La modélisation présentée correspond également aux processus, méthodes et outils proposés précédemment.

3.3.1. Centrage des différents modèles autour de modèles de référence

Dans la suite, nous présentons la logique globale de relation entre des modèles de référence et des modèles spécifiques que nous intégrons à la proposition. Les modèles de références sont utilisés tout au long du cycle de vie, tandis que les modèles spécifiques sont utilisés pour des activités d'ingénierie particulières.

L'état de l'art a permis de déterminer trois vues principales dans lesquelles sont exprimés les modèles, ainsi que des descripteurs spécifiques au développement des PSS. L'analyse des trois vues utilisées pour modéliser les systèmes montre qu'aucune vue ne couvre l'ensemble des descripteurs ciblés. Or, avoir une vue de référence pour décrire l'ensemble du système permet de faciliter la structuration de toutes les informations relatives au système autour de cette vue de référence et par conséquent de faciliter la mise en œuvre des logiques de continuité numérique sur le cycle de vie des systèmes. Assurer une cohérence entre les différentes vues d'un système est une problématique rencontrée dans le développement de ces systèmes (Göknur, 2015).

Le développement des PSS implique de nombreux modèles qui sont spécifiques aux activités de développement réalisées et des modèles de référence qui servent de manière transversale aux activités. Ces modèles de référence supportent la continuité numérique tout au long du cycle de vie des PSS. Cette distinction entre les modèles est illustrée sur le cycle de vie des PSS dans la Figure 3-21. Par exemple, des modèles 3D d'un véhicule peuvent éventuellement être développés par les tâches d'étude

et réadaptés pour les simulations multiphysiques. Ces modèles de référence permettent de partager entre les parties prenantes une facette commune du PSS développé. Ils permettent de plus de définir des états de maturité du PSS utilisés pour le pilotage du processus de développement, par exemple définissant des jalons de conception. Sur la Figure 3-21, le dégradé représente l'évolution de la maturité du modèle de référence au long du cycle de vie du PSS.

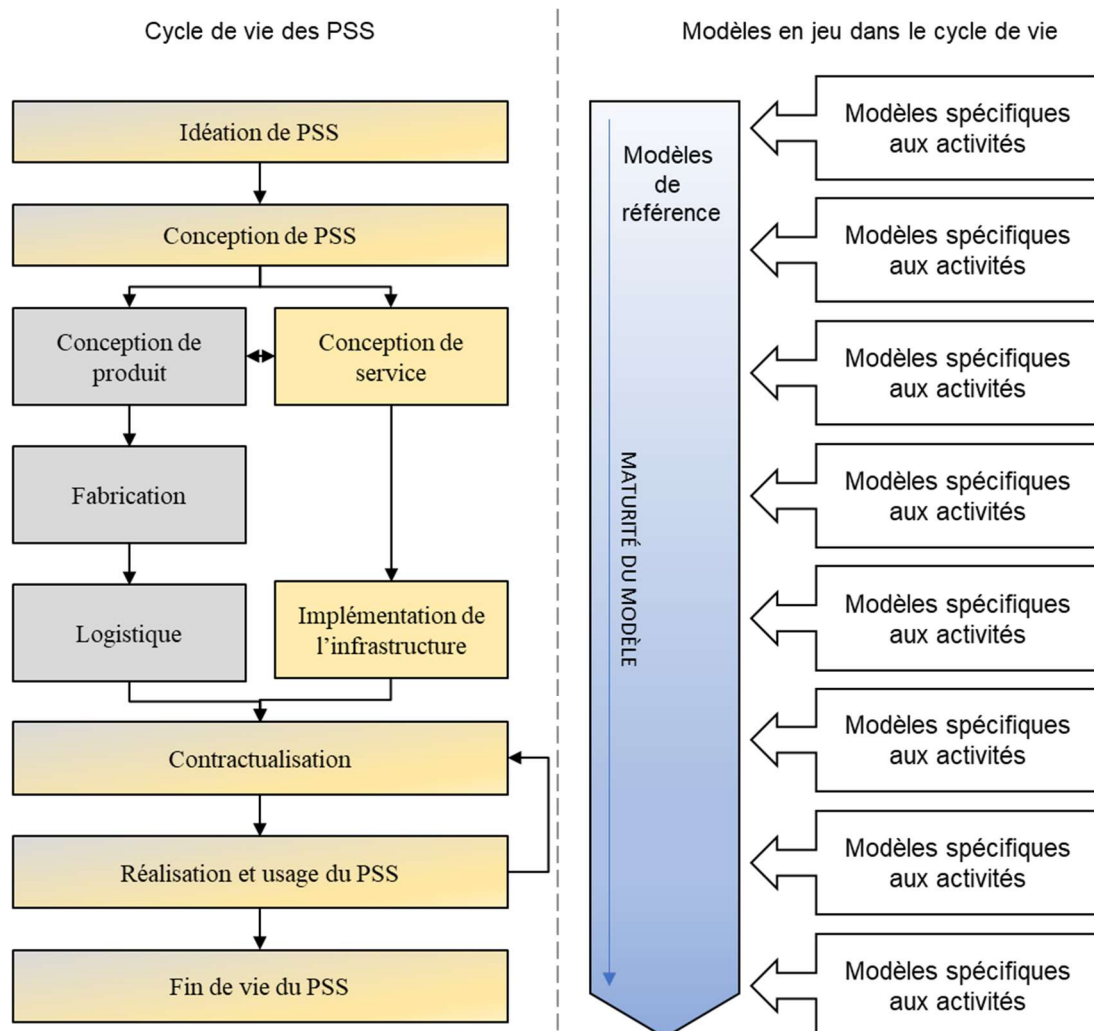


Figure 3-21 Les modèles de référence et spécifiques aux activités au long du cycle de vie des PSS.

Pour la modélisation des PSS, la proposition comporte des modèles de référence et des modèles spécifiques aux activités, utilisés dans le développement de PSS pour les phases d'idéation et de conception de PSS ainsi que pour la conception des produits et services. En d'autres termes, les modélisations de la proposition sont axées sur les phases précédant la fabrication et l'implémentation des PSS. Cependant, les modèles de référence proposés ont vocation à être utilisés pour ces phases mais aussi les suivantes.

Dans cette partie, nous avons présenté une distinction entre les modèles de référence et les modèles spécifiques. Nous nous appuyons sur cette distinction pour articuler les modèles de référence et spécifiques proposés dans ces travaux.

3.3.2. Modèles de référence proposés

Cette partie présente les modèles de référence que nous proposons comme éléments centraux de la représentation des PSS. Les principes des approches du type PLM articulent leurs représentations des systèmes autour des vues de structures des systèmes. Dans la proposition, les modèles de structures de PSS centralisent les différentes vues du PSS.

Précédemment dans la proposition, nous avons déterminé que le PSS est documenté dans les approches d'environnement produit et service selon les étapes de son cycle de vie. Cela se traduit par l'utilisation d'architectures structurelles en tant que modèles de référence dans ces environnements. Comme présenté en Figure 3-22, le PLM reste centré sur l'architecture structurelle des produits, alors que le SLM est centré sur l'architecture structurelle des services.

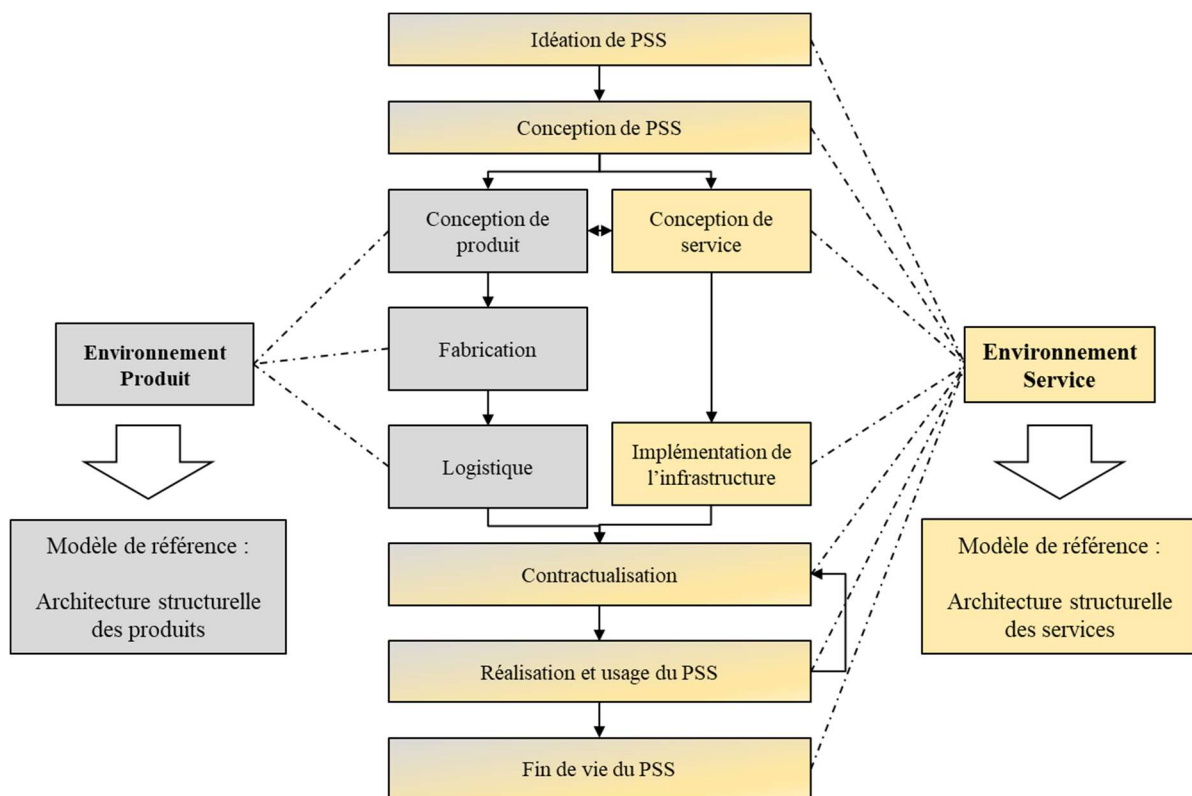


Figure 3-22 Utilisation des modèles de référence au long du cycle de vie du PSS

La Figure 3-23 représente comment les vues comportementales et structurelles sont attachées à une entité de la vue structurelle, c'est-à-dire à un système ou composant du PSS. Dans cette figure, les blocs « S » de la vue structurelle désignent des systèmes, tandis que les blocs « C » désignent les composants. Des modèles fonctionnels et comportementaux sont attachés à chacun des systèmes ou composants.

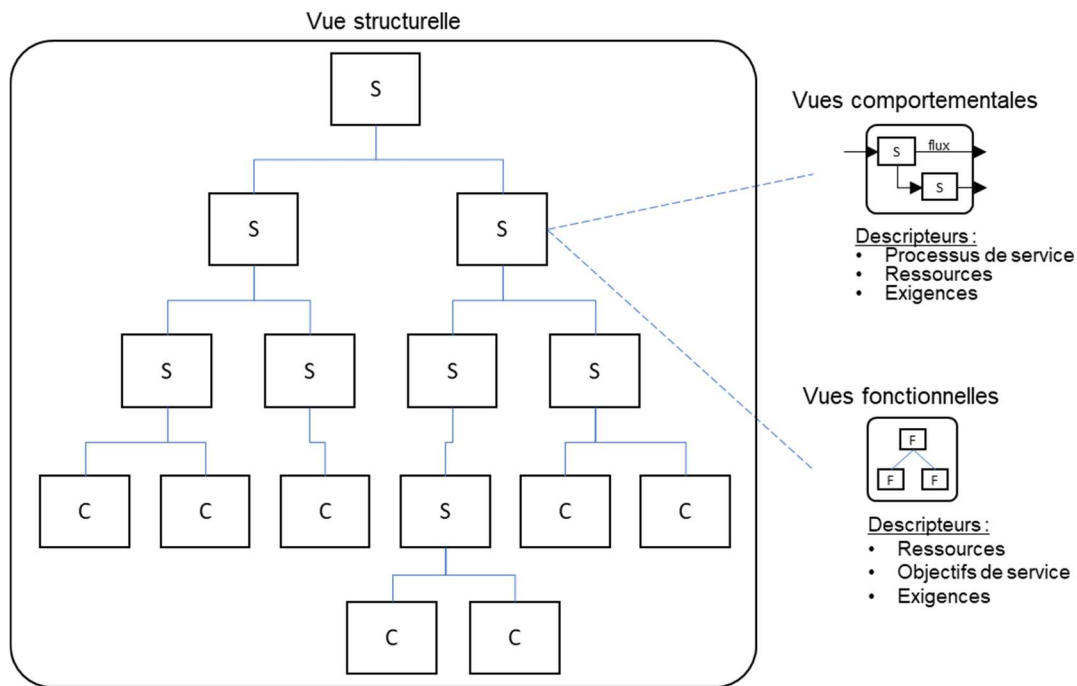


Figure 3-23 Les différents descripteurs et vues sont centralisés autour de la vue structurelle

Cette vue structurelle est le résultat des phases de conception du PSS et sera utilisée pour les phases suivantes du cycle de vie du PSS. Elle s'intègre dans des outils du SLM similaires au PDM mais appliquée aux PSS. Ainsi, dans cette partie nous avons déterminé que la vue structurelle, construite à partir de l'allocation fonctionnelle du PSS, servira de modèle de référence dans l'approche SLM. Cette vue de référence pourra évoluer au gré des tâches successives de développement.

3.3.3. Modèles spécifiques proposés pour la conception de PSS

Dans la suite, nous proposons des modèles spécifiques à la conception de PSS, qui structurent les informations de cette phase de conception. Les modèles employés sont les architectures structurelles, fonctionnelles, les vues comportementales et les exigences associées.

Les modèles spécifiques proposés sont mis en œuvre pour les phases d'idéation et de conception des PSS. Ils servent à définir les missions du PSS, à les décliner en exigences, à détailler le PSS en architecture fonctionnelle, structurelle et comportementale.

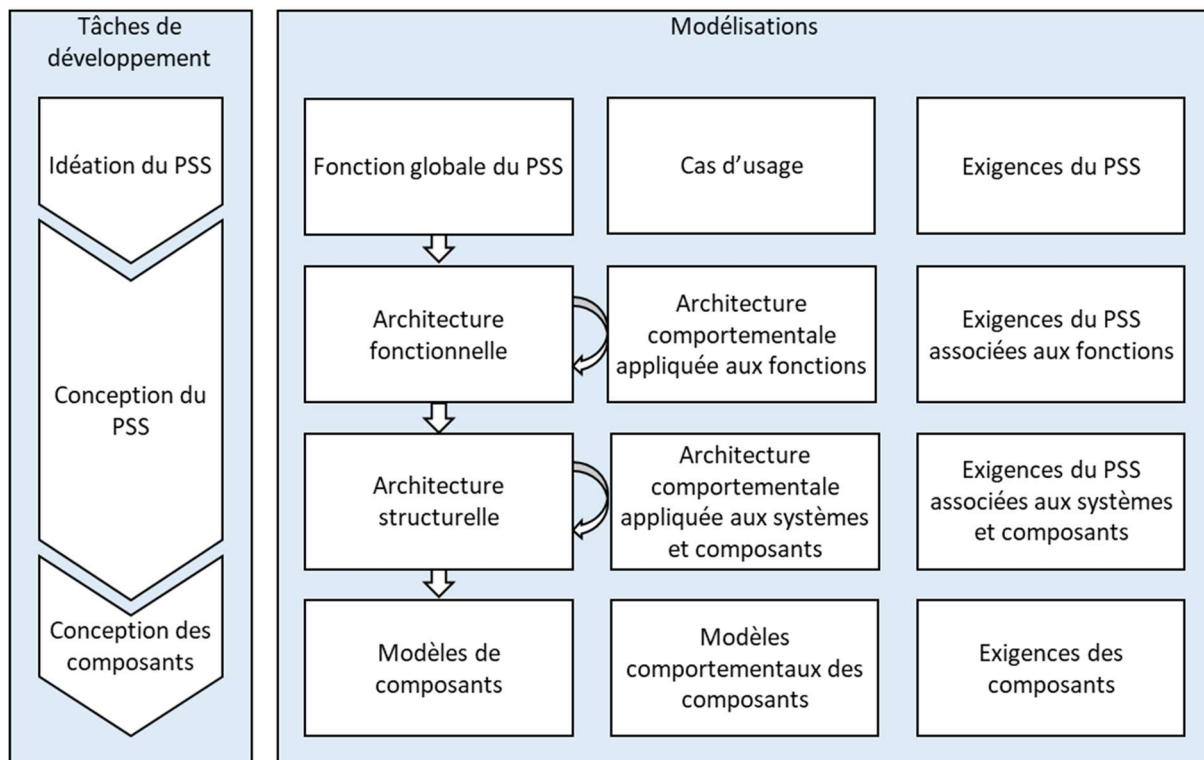


Figure 3-24 Modélisations spécifiques pour la conception des PSS

L'ensemble des modèles employés dans la conception des PSS est synthétisé en Figure 3-24. Les modèles construits sont de plus en plus détaillés, raffinés, lors de la réalisation des tâches de développement, d'abord par une approche fonctionnelle représentant le besoin, puis par une approche structurelle représentant la solution. Les premiers modèles sont la fonction globale du PSS, associé aux cas d'usage du PSS. À cette étape, les premières exigences sont dressées, notamment celles des parties prenantes au cycle de vie du PSS. La fonction globale du PSS est déclinée en architecture fonctionnelle, appairée à une vue comportementale des fonctions. Associées à ces modèles, les exigences de PSS sont affinées à ce niveau. À partir de l'architecture fonctionnelle, la phase d'allocation permet de modéliser l'architecture structurelle et d'associer des éléments de solution aux besoins détaillés par l'architecture fonctionnelle. Là aussi, la vue comportementale des éléments de structure est modélisée en parallèle de l'architecture structurelle des PSS. Cette dualité entre vue de composition (architectures structurelles et fonctionnelles) et vues comportementales des éléments est présentée en Figure 3-25.

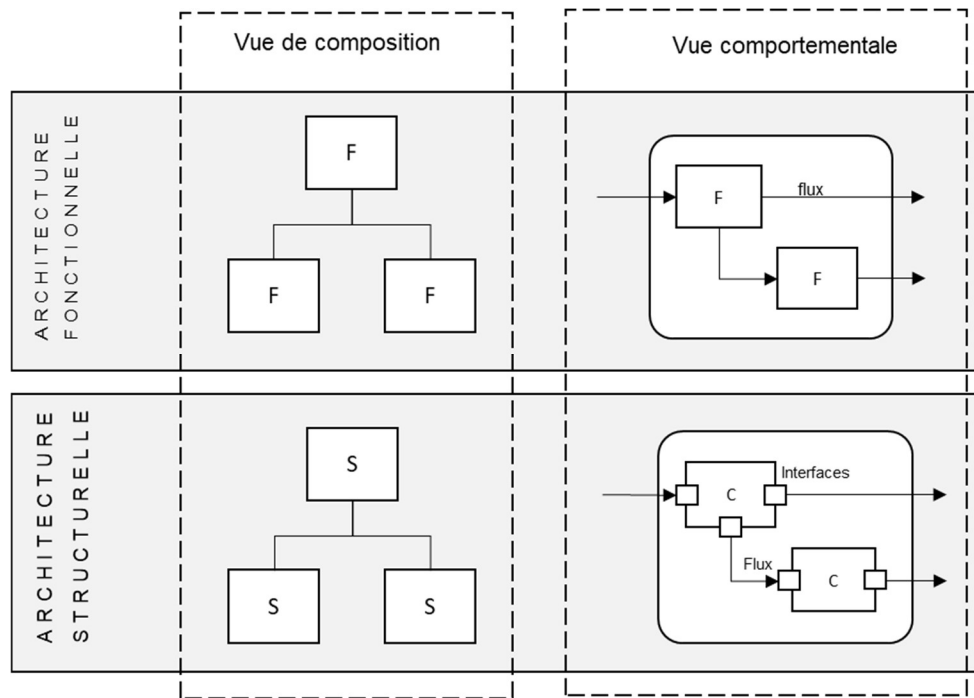


Figure 3-25 Liens entre architectures fonctionnelles et structurales et vues de composition ou vues comportementales

Des exigences supplémentaires sont émises. Sur la base des modèles créés à ce niveau, les composants du PSS sont suffisamment définis par les architectures et les exigences pour lancer leur conception. La modélisation ne se consacre plus directement au système mais au composant.

Nous avons ainsi présenté les différents modèles en jeu pour la description du PSS dans le cadre de sa conception. Dans la suite, nous détaillons les modèles présentés précédemment.

3.3.3.1. Modèles proposés au niveau global PSS

Au niveau global PSS, la modélisation doit représenter le besoin auquel répond le PSS dans un niveau de détail faible. Les représentations à base de scénarios sont employées pour permettre une compréhension commune des missions du PSS dans ses différentes phases de son cycle de vie. Les différentes parties prenantes sont définies, concernant le développement du PSS mais aussi pour les autres phases de son cycle de vie, notamment concernant l'usage du PSS. Les besoins exprimés des parties prenantes sont déclinés en exigences rattachées à la fonction globale du PSS. Les différents scénarios du PSS sont décrit à travers des diagrammes de cas d'usage tels que décrits dans le langage SysML (Object Management Group, 2015) et présentés en Figure 3-26. Un diagramme de cas d'usage modélise le comportement haut niveau d'un système et ses fonctionnalités principales.

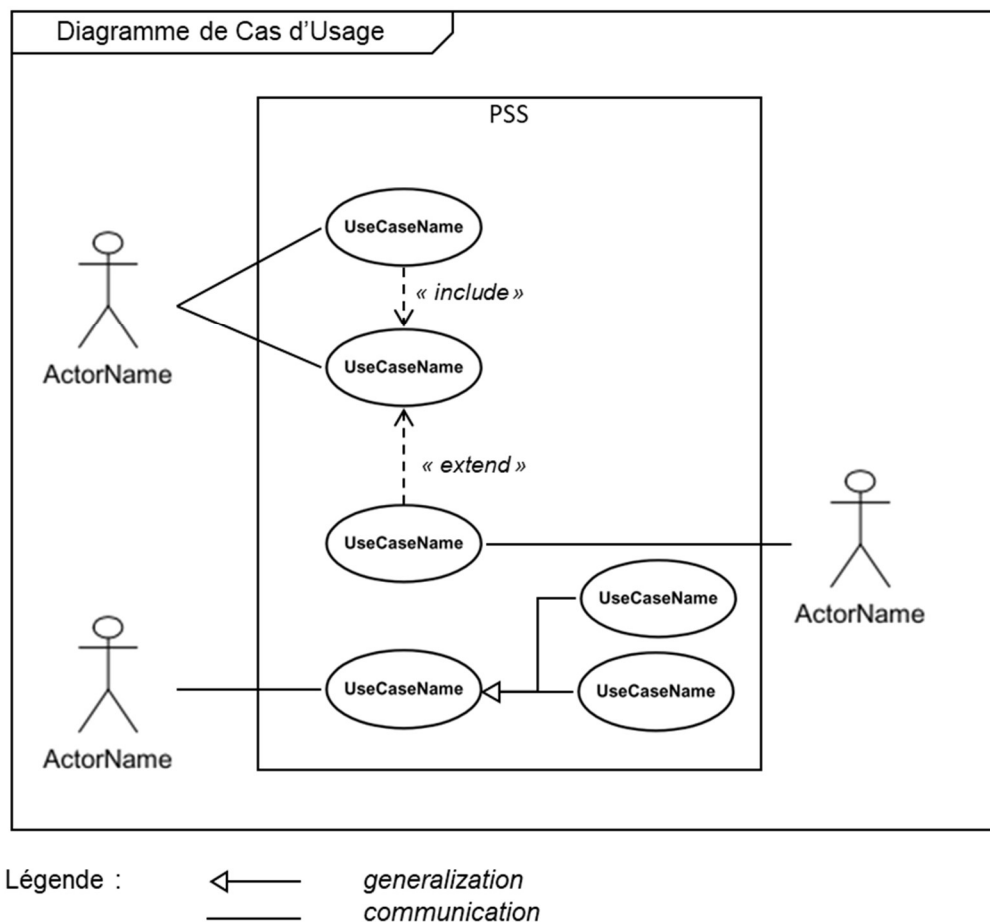


Figure 3-26 Diagramme de cas d'usage générique

Dans ce diagramme, les différentes missions qui répondent à la fonction globale du PSS sont présentées, ainsi que les différents acteurs intervenant dans les différents cas d'usage. Chaque cas d'usage représente une activité principale du système. Ces activités peuvent être liées par des relations de *generalization* qui relient différentes variantes à un cas d'usage, des liens *include* qui réfèrent à un cas d'usage nécessaire à la réalisation d'un autre, des liens *extend* qui présentent des options de cas d'usage facultatifs et des liens *communication* qui associent des acteurs à des cas d'usage.

3.3.3.2. Modèles employés au niveau fonctionnel

L'architecture fonctionnelle est modélisée selon deux propriétés. La première modélisation représente les relations de composition entre les fonctions et les sous-fonctions. Dans cette modélisation présentée en Figure 3-27, la fonction en tête de l'architecture est la fonction principale du PSS et chaque fonction est entièrement décrite par les sous-fonctions qui la composent.

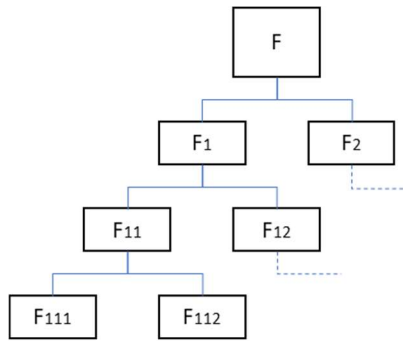


Figure 3-27 Modèle d'architecture fonctionnelle arborescente représentant la composition du PSS en fonctions

La seconde modélisation de l'architecture fonctionnelle détaille la première modélisation à travers des aspects comportementaux. Elle représente les fonctions comme des lois d'entrée/sortie reliées par des flux tout en gardant les notions de composition. La Figure 3-28 présente cette modélisation. La fonction F est déclinée en fonctions F₁ et F₂ et les flux entre ces fonctions sont élicités. Les flux peuvent être relatif à un échange de matière, physique ou d'information. Un flux physique est un effort mécanique ou un flux d'énergie.

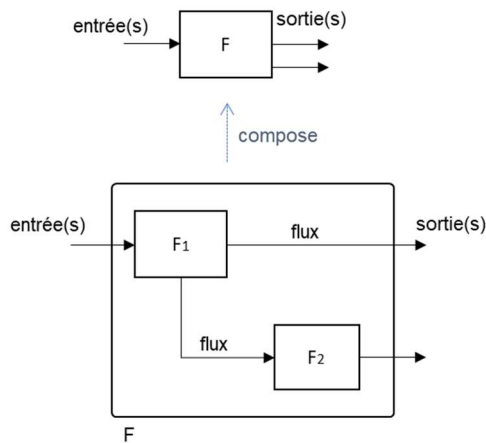


Figure 3-28 Modèle d'architecture fonctionnelle modélisée par les lois d'entrée/sortie et les flux

En synthèse, les informations contenues dans l'architecture fonctionnelle sont donc : les fonctions, les liens de composition entre fonctions, les flux entre fonctions, les types de flux (physique, matière ou information) et la nature des flux (internes à une fonction ou un flux d'entrée/sortie). L'ensemble de ces éléments est représenté par un diagramme de classe en Figure 3-29.

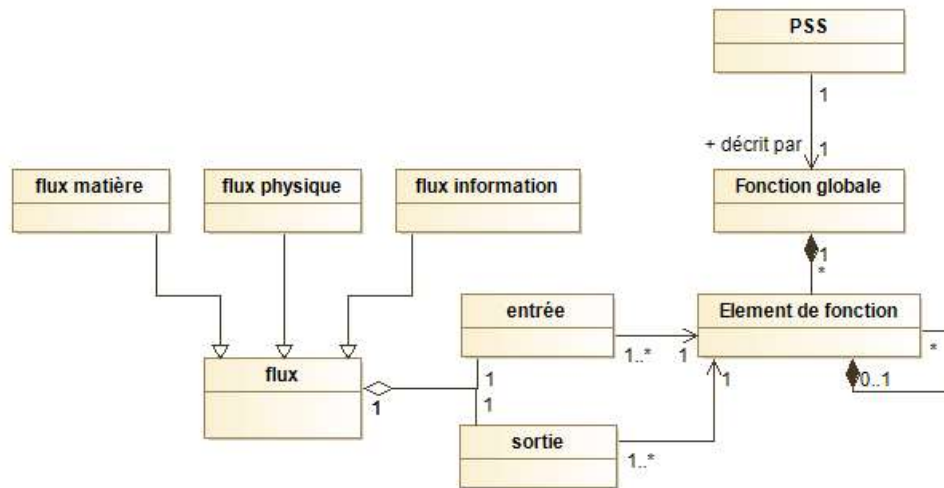


Figure 3-29 Diagramme de classe du modèle d'architecture fonctionnelle

Une fonction est transposée en élément de fonction, qui peuvent être associés entre eux par un lien de composition. Une fonction mère, pour être satisfaite, doit avoir ses fonctions filles satisfaites. Conformément à la représentation comportementale de l'architecture fonctionnelle, un élément de fonction est associé à un ou plusieurs flux d'entrée et de sortie.

3.3.3.3. Modèles employés au niveau structurel

Dans les processus proposés, l'architecture structurelle découle de l'architecture fonctionnelle. L'architecture structurelle du PSS décrit la composition du PSS par les éléments de solution qui le composent. Ces éléments de solution sont des systèmes ou des composants du PSS. Dans cette vue présentée en Figure 3-30, les éléments de solution sont des éléments du PSS et peuvent être composés d'autres éléments de solution.

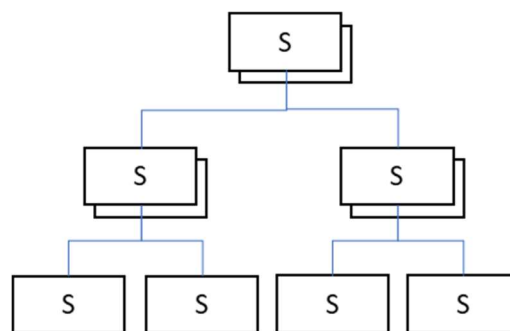


Figure 3-30 Modèle d'architecture structurelle du PSS

En plus du lien de composition des systèmes en sous-systèmes et composants, des informations relatives à la nature des éléments ainsi qu'aux interactions entre les éléments sont portés par les modèles d'architecture structurelle. Notamment, chaque élément est de nature produit ou service selon la distinction utilisée dans la proposition. Chaque élément possède des interfaces qui permettent de définir les interactions entre les éléments. Chaque élément possède des capacités, qui sont les fonctions remplies par l'élément. Un élément de solution peut exploiter une infrastructure. Le lien entre l'élément

et l'infrastructure traduit concept de ressource défini dans l'état de l'art. Ces éléments sont présentés dans un diagramme de classe du modèle en Figure 3-31.

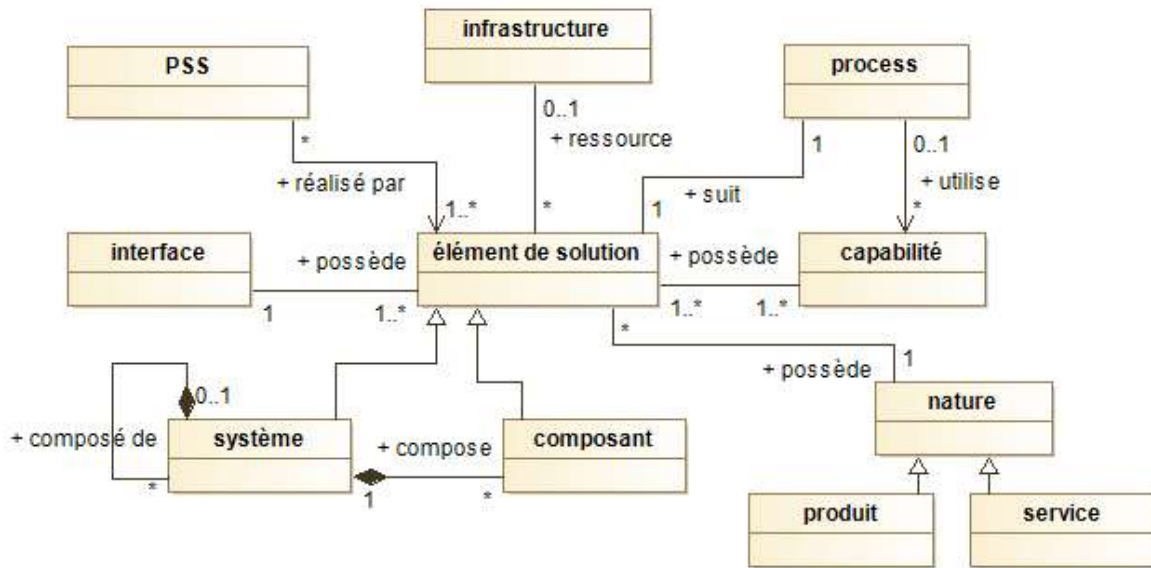


Figure 3-31 Diagramme de classe du modèle d'architecture structurelle

Les architectures fonctionnelles sont liées aux architectures structurelles suite à la phase d'allocation des fonctions aux éléments du PSS.

3.3.3.4. Liens entre architectures fonctionnelles et structurelles

L'allocation fonctionnelle consiste à associer des éléments de solution à des éléments de fonction. Elle établit la manière dont les éléments de solution du PSS, définis dans l'architecture structurelle, satisfont les fonctions définies dans l'architecture fonctionnelle comme présenté en Figure 3-32. Les deux architectures sont donc liées entre elles l'allocation fonctionnelle.

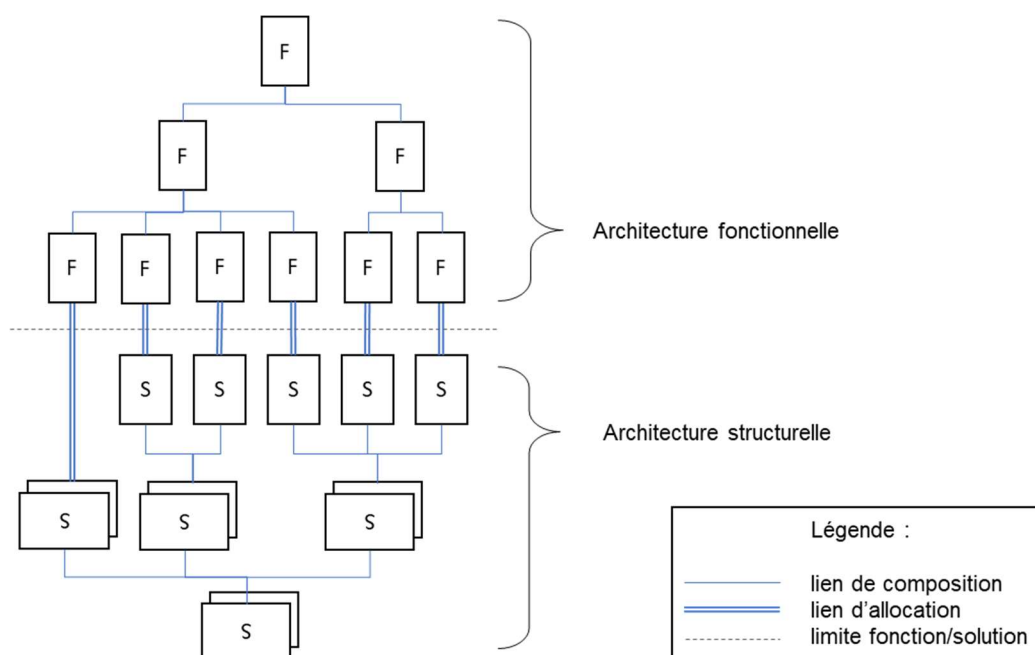


Figure 3-32 L'allocation fonctionnelle relie l'architecture fonctionnelle et l'architecture structurelle

Sur cette figure, la partie haute représente l'architecture fonctionnelle, constituée de fonctions (F) qui peuvent être liées entre elles par un lien de composition. La partie basse représente l'architecture structurelle, constituée des éléments de solution (S). Des liens d'allocation permettent d'attribuer des éléments de solutions à des éléments de fonction en s'appuyant sur le concept de résultat qui est réalisé par les éléments de solution.

La Figure 3-33 décrit la relation entre les éléments des vues fonctionnelles en partie haute du diagramme et les éléments des vues structurelles en partie basse du diagramme. Ces liens d'allocation sont définis d'après le modèle combiné présenté en Figure 3-33. Chaque élément de fonction se décrit par un résultat attendu. L'allocation consiste à associer des éléments de solution aux résultats des éléments de fonction.

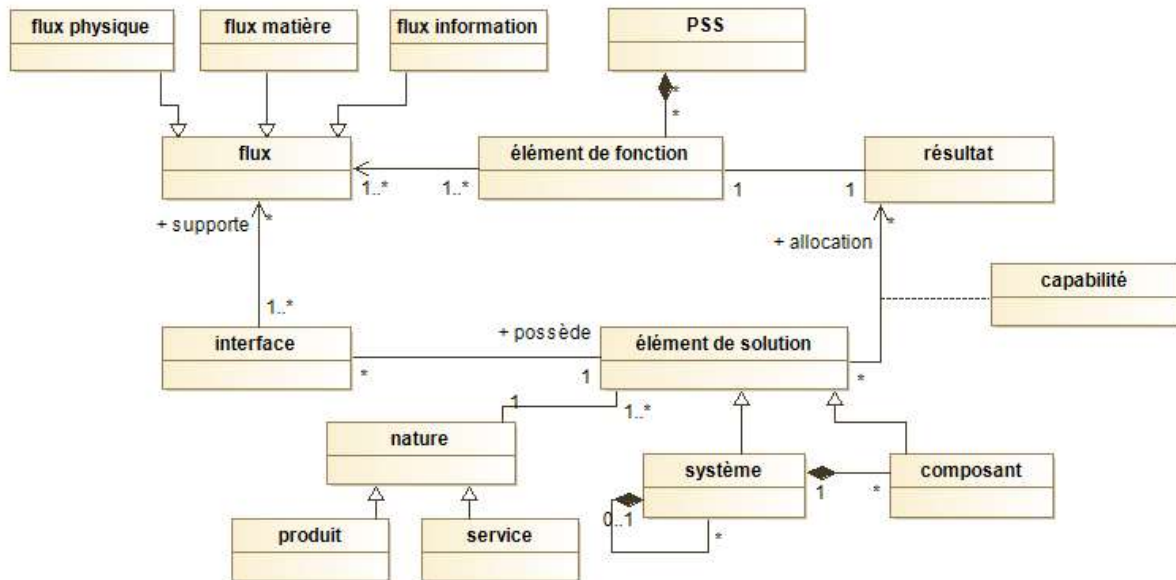


Figure 3-33 Diagramme de classe du modèle combiné d'architectures fonctionnelle et structurelle

Pour traduire l'association entre le résultat de fonction et la solution, nous introduisons le concept de capacité. Nous définissons la capacité comme l'aptitude d'un élément de solution à fournir un résultat fonctionnel. Un élément de solution, de nature produit ou service, est lié à un élément de fonction par la capacité.

L'ensemble des liens d'association entre fonctions et solution est structuré dans une matrice de capacités. La Figure 3-34 reprend graphiquement les éléments de cette synthèse.

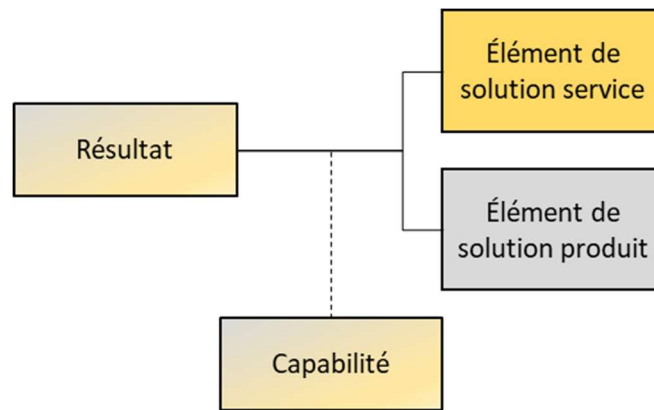


Figure 3-34 La capabilité est le pivot entre les fonctions et les éléments de solution de produit ou de service

La modélisation de la capabilité a deux intérêts. Le premier est de supporter l'allocation fonctionnelle d'un PSS donné, en permettant d'associer des éléments de solutions aux éléments de fonction. Chacune des exigences d'un élément de fonction doit en effet être satisfaite par l'élément de solution auquel il est associé. À l'issue de l'allocation fonctionnelle, des exigences sont attribuées aux éléments de solution, qu'ils doivent satisfaire pour satisfaire les besoins du PSS. Par ce biais, elle permet de lier les exigences allouées aux éléments de fonction avec les exigences allouées aux éléments de solution, en se basant sur la capabilité. Le second est la capacité de réutiliser des couples d'éléments de fonction et de solution existants.

En synthèse, en nous basant sur des constats issus de l'état de l'art, nous avons montré l'intérêt de décrire une fonction de PSS avec les concepts de résultat, process et ressource qui sont intégrés à la modélisation. Ces trois concepts permettent d'articuler les éléments de fonction et de solution entre eux.

Les exigences sont associées aux éléments d'architecture fonctionnelle et structurelle décrites ci-dessus. Dans la partie suivante, nous détaillons comment elles sont modélisées dans la proposition.

3.3.3.5. Modélisation des exigences sur les modèles d'architecture

Dans l'état de l'art, nous avons déterminé qu'il est pertinent d'utiliser les exigences pour spécifier le PSS. Le concept d'exigence est largement mis en œuvre dans l'approche d'ingénierie système. Dans la proposition, nous utilisons la définition d'exigence suivante : « *Requirements are formal structured statements that can be verified and validated. There may be more than one requirement defined for each need* » ainsi que la caractérisation des exigences issue du 4th *Systems Engineering Handbook* (INCOSE, 2015). Nous adaptons ce concept aux spécificités de la proposition et utilisons les exigences pour traduire les différentes vues du PSS en spécifications. En particulier, les exigences utilisées dans la proposition suivent la taxonomie définie par (Berkovich et al., 2012) et présentées en ANNEXE 1.

Les exigences sont définies sur les éléments des architectures et les composants du système. Elles permettent de spécifier avec des niveaux de détail progressif les architectures et sont appliquées à tous les niveaux de décomposition. Plus précisément, les éléments du système sont spécifiés à travers les architectures fonctionnelle et structurelle mais aussi d'après les vues comportementales des éléments de fonction et de solution. Les exigences fonctionnelles sont associées aux éléments fonctionnels du système. Elles permettent de préciser chaque fonction décrite dans l'architecture fonctionnelle. Les exigences structurelles décrivent les éléments de l'architecture structurelle pour leurs caractéristiques

propres. Les exigences fonctionnelles et structurelles portent aussi les contraintes qui se traduisent en la création de variantes et l'utilisation de critères de diversité. Les exigences comportementales sont issues des vues comportementales et concernent les processus de fonctionnement des éléments. Elles spécifient par exemple des temps d'opération, des états de fonctionnement ou des interfaces. Ces trois types d'exigences et leurs associations aux différents modèles sont représentées en Figure 3-35 et en Figure 3-36 d'après la description des modèles définies en Figure 3-25 (Liens entre architectures fonctionnelles et structurelles et vues de composition ou vues comportementales).

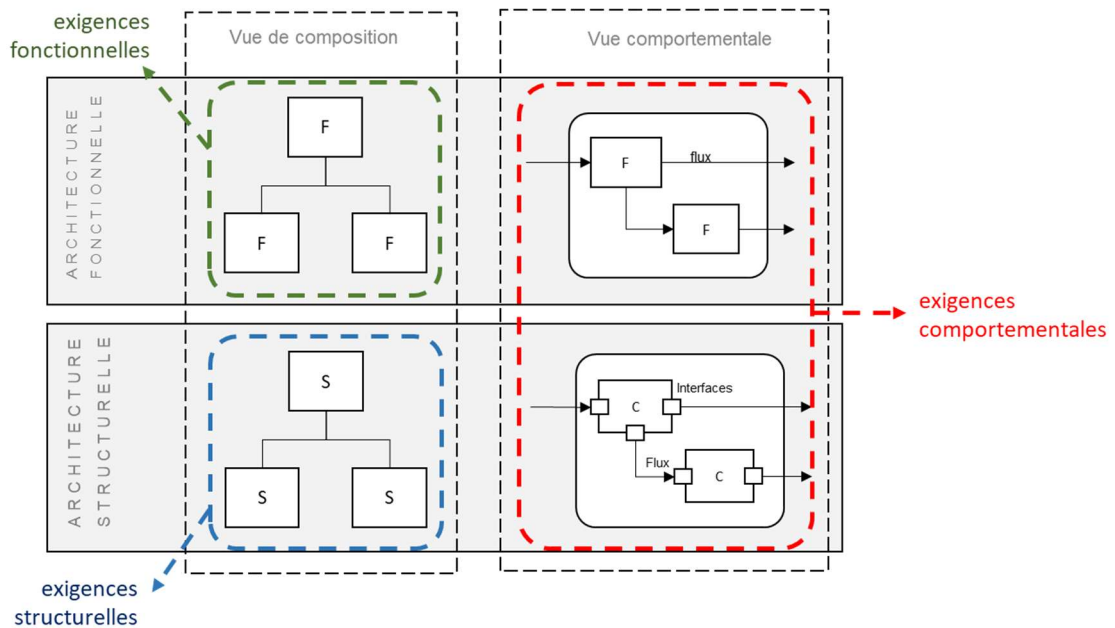


Figure 3-35 Association entre types d'exigences et modèles de conception des PSS

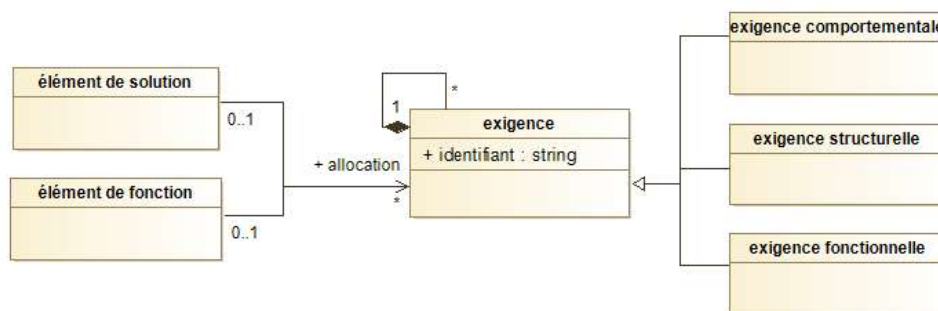


Figure 3-36 Modèle des exigences de la proposition

Les exigences sont associées aux éléments de fonction et de solution du PSS. Dans les vues de composition, les exigences structurelles et fonctionnelles définissent les caractéristiques de l'élément. Dans les vues comportementales, les exigences comportementales permettent de spécifier les flux entre les éléments. Pour les éléments de PSS et de service, elles permettent aussi de traduire les représentations de process de service en spécifications formelles. On cite par exemple les temps d'opération d'un service ou les transitions entre états du service.

Dans cette partie, nous avons détaillé les différents modèles spécifiques utilisés dans la conception des PSS. Ils sont axés sur l'architecture fonctionnelle dans un premier temps, l'architecture

structurelle dans un deuxième temps et les modèles de composants ensuite. L'allocation fonctionnelle permet de relier les architectures fonctionnelles et structurelles. En parallèle de ces architectures, les vues comportementales permettent de détailler les modèles fonctionnels et structurel et d'intégrer les aspects comportementaux lors de leur conception. De même, les exigences sont appliquées aux éléments des deux architectures et aux composants et permettent de les spécifier avec rigueur.

3.3.4. Gestion de la diversité à travers les modèles de PSS

Dans la suite, nous abordons la façon dont la problématique de la gestion de la diversité est traitée à travers les modèles. Dans un premier temps, nous présentons les modèles relatifs à la description de la diversité des éléments et dans un second temps nous présentons comment les modèles décrivent les configurations des PSS.

La proposition met en œuvre des méthodes de gestion de la diversité qui s'appuient sur une modélisation de la diversité. Ces informations de diversité sont utilisées lors de la conception du PSS mais aussi aux différentes étapes du cycle de vie du PSS. Dans la suite, nous définissons les concepts mis en œuvre dans la gestion de la diversité, puis nous présentons comment la diversité se décline à travers l'architecture fonctionnelle et l'architecture structurelle.

3.3.4.1. Concepts de la gestion de la diversité utilisés dans la proposition

Dans la proposition, nous utilisons les concepts d'applicabilité, de critère de diversité, d'objet de diversité, d'élément générique et de variante pour décrire la diversité des systèmes.

Le concept de variante a été défini dans l'état de l'art comme les instances d'une classe qui présentent de légères différences par rapport au type ou à la norme commune. Dans la proposition, une variante est la déclinaison d'un élément générique, qui regroupe toutes les variantes semblables d'une entité. Un élément est dit générique lorsqu'il n'est pas associé à des critères de diversité. Par exemple, une roue de véhicule est un élément générique possédant deux variantes : une variante « jante aluminium » et une variante « jante en tôle ».

Une variante est associée à des critères de diversité. Un critère de diversité est la déclaration d'une caractéristique permettant de distinguer des variantes entre elles. Les critères sont associés par type sous le concept d'objet de diversité, qui regroupe l'ensemble des critères similaires. Dans l'exemple utilisé ci-dessus, les critères de diversité qui différencient les variantes des roues de véhicule sont « finition haute » pour la variante « jante aluminium » et « finition basse » pour la variante « jante en tôle ». Les deux critères appartiennent à l'objet de diversité « niveau de finition ».

L'ensemble des critères de diversité et des objets de diversité est structuré dans un lexique de diversité qui met à disposition ces informations pour les différentes modélisations mettant en œuvre la gestion de diversité. Ce lexique de diversité est transversal aux PSS de l'entreprise et est utilisé pour les différents systèmes. De cette manière, les objets et critères de diversité sont communs aux différents PSS et peuvent être manipulés ensemble.

L'applicabilité est l'attribution d'un ou plusieurs critères de diversité à un élément. En d'autres termes, l'applicabilité permet de différencier des variantes à travers les critères de diversité qui leurs sont appliqués. Dans l'exemple mentionné, l'applicabilité est le fait de caractériser les variantes de roues en leur associant les critères de diversité. Elle est définie par une expression booléenne qui traduit l'ensemble des critères applicables à une variante. Elle utilise pour cela des opérateurs « ET » et « OU ».

La configuration est une association cohérente et complète d'éléments du système. Le terme « cohérente » porte sur le fait qu'elle est constituée de variantes qui ne sont pas contradictoires et le terme « complète » porte sur le fait qu'il ne manque pas d'éléments du système nécessaires et que la configuration couvre les besoins du système. Il n'est par exemple pas possible de définir une configuration de véhicule avec à la fois des jantes aluminium et des jantes en tôle (cohérence), de même qu'il n'est pas possible de définir une configuration sans roues (complétude).

3.3.4.2. Impact de la diversité sur les modélisations du PSS

Prendre en compte la diversité des PSS lors de sa conception permet de développer de manière commune un PSS possédant plusieurs configurations différentes. Ce sont les contraintes définies dans la proposition au niveau des méthodes de gestion de la diversité qui impliquent des variantes de solutions. Par exemple, un PSS de mobilité partagée sera sensiblement différent selon le type d'énergie employée par le véhicule. Un véhicule électrique sera rechargé différemment d'un véhicule à carburants fossiles.

Cela implique des différences dans l'architecture fonctionnelles du PSS. Une même fonction de recharge d'énergie pourra alors avoir une variante électrique et une variante fossile, ce qui apparaît dans l'architecture fonctionnelle. Cette diversité fonctionnelle se traduit ensuite en diversité structurelle. Les éléments de solution possèdent eux-aussi des contraintes de diversité, issus d'une part de la diversité fonctionnelle, mais aussi des autres contraintes de diversité définies précédemment. Il est nécessaire de définir la diversité des fonctions PSS afin de pouvoir configurer le PSS en fonctions de contraintes de diversité.

Il est aussi nécessaire de définir la diversité des solutions de PSS de manière à l'exploiter tout au long de leurs cycles de vie. En effet, les différentes activités réalisées autour du PSS peuvent nécessiter de connaître la configuration en vigueur sur le PSS considéré. Par exemple, les activités de maintenance sont adaptées selon les variantes composant la configuration du système maintenu.



Figure 3-37 Focus sur la description de la diversité

Dans la suite, nous nous intéressons à la manière dont les modèles de références décrivent la diversité des éléments (voir Figure 3-37). Les modèles employés pour la gestion de configuration sont considérés plus loin dans ce manuscrit.

3.3.4.3. Diversité au niveau de l'architecture fonctionnelle

Les fonctions composant l'architecture fonctionnelle peuvent être associés à des variantes. Comme présenté en Figure 3-38, l'architecture fonctionnelle dans un contexte de diversité comporte des liens de composition entre les fonctions et des liens de diversité entre les fonctions génériques et les variantes de fonction.

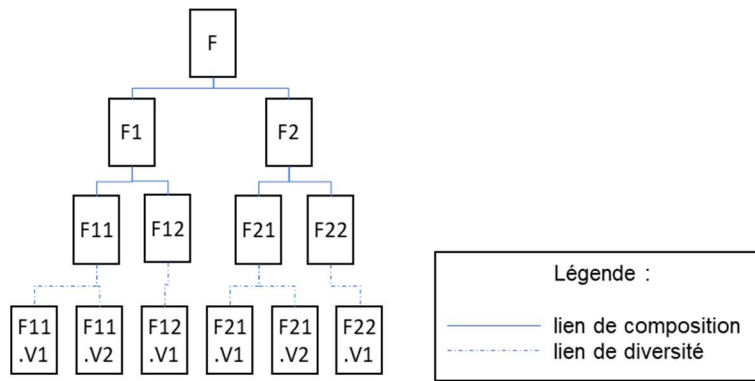


Figure 3-38 Diversité dans l'architecture fonctionnelle

Les variantes de fonction sont associées à une applicabilité. En termes de modèles de données, cette relation entre fonctions génériques et les variantes de fonction est décrite par le modèle présenté en Figure 3-39. Une fonction se traduit par un élément de fonction, qui est soit une fonction générique, soit une variante de fonction. Chaque variante de fonction est associée à une fonction générique. Une variante de fonction possède des applicabilités de produit « applicabilitéP » ou de service « applicabilitéS ».

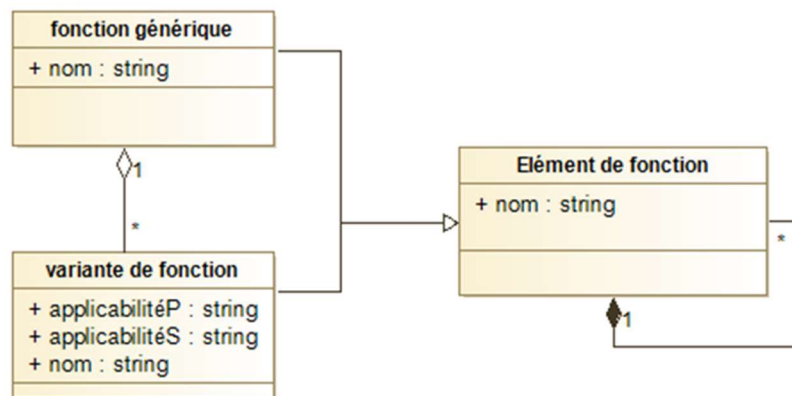


Figure 3-39 Modèle de donnée relatif à la relation entre fonctions génériques et variantes de fonctions

Un exemple est donné en Figure 3-40. Cet exemple concerne un PSS de gestion des pannes moteur. Il s'agit par exemple de définir le fait qu'un service d'alerte sur une IHM du véhicule possède des variantes « Alerter par audio », « Alerter visuellement sur évènement » ou « Alerter visuellement en préventif » selon des critères de diversité « Radio », « IHM Gen.1 » ou « IHM Gen.2 » qui représentent la génération de d'IHM présente dans le véhicule, associée à l'objet de diversité « Multimédia ».

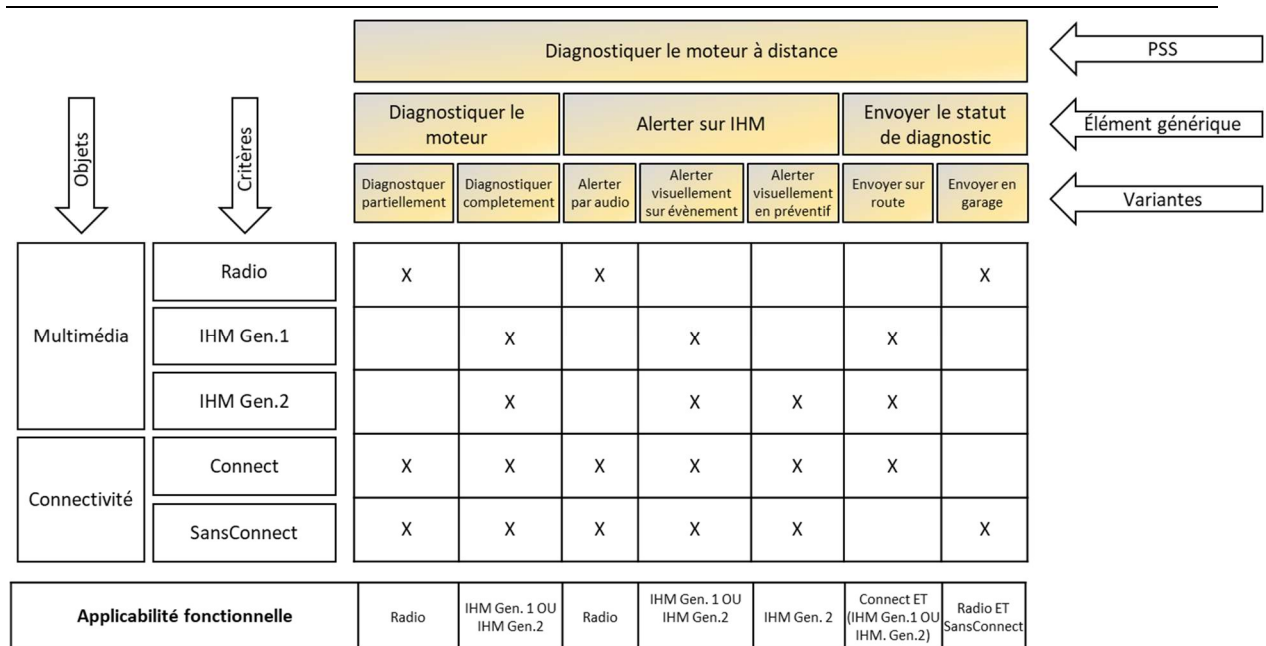


Figure 3-40 Illustration de l'applicabilité produit pour associer les variantes de fonction à des critères de diversité

Dans le cas de l'exemple présenté en Figure 3-40, la fonction « Alerte IHM » est une fonction générique décrite par trois variantes de fonction possédant des applicabilités produit. La variante « Alerter par audio » est applicable au critère « Radio », tandis que la variante « Alerter visuellement sur évènement » est applicable aux critères « IHM Gen.1 » et « IHM Gen.2 ». La variante « Alerter visuellement en préventif » est quant à elle applicable au critère « IHM Gen.2 » uniquement. Ces trois variantes sont aussi applicables « Connect » et « SansConnect » de l'objet « Connectivité ».

3.3.4.4. Diversité au niveau de l'architecture structurelle

Chaque élément solution décrit dans l'architecture structurelle peut se voir décliné en variantes qui possèdent chacune une applicabilité (voir Figure 3-41). Ces éléments sont décrits dans le diagramme de classes présenté en Figure 3-42. Un élément de solution est un élément constitutif de la solution du PSS. Il peut être une solution générique ou une variante de solution. Une variante solution possède des attributs d'applicabilité de produits et de service, de manière similaire aux éléments de fonctions présentés précédemment.

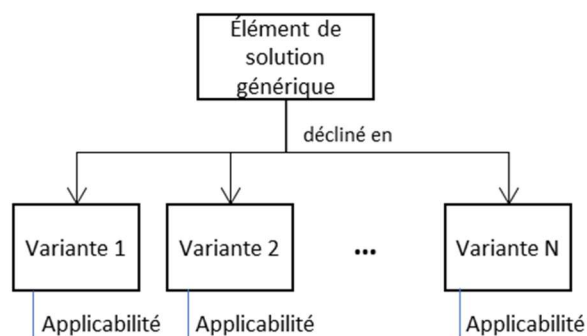


Figure 3-41 Déclinaison d'un élément de système en variantes décrites par des applicabilités

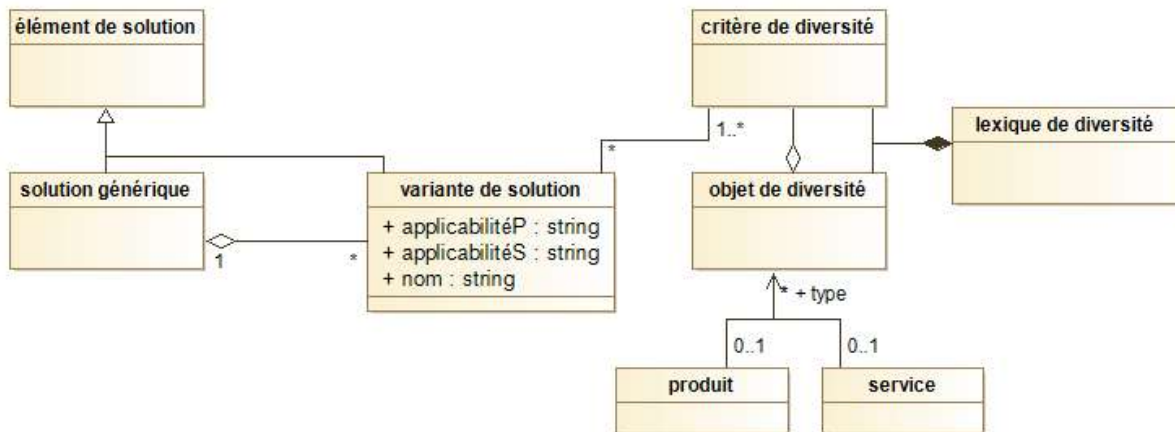


Figure 3-42 Diagramme de classes de la description de la diversité des éléments du système

Cette modélisation intègre les descripteurs de diversité des éléments. Mais elle n'intègre pas les relations entre les différentes variantes dans un système, c'est-à-dire les informations relatives à la configuration des systèmes. Pour cela, il est nécessaire de modéliser les configurations des systèmes, c'est-à-dire de modéliser les associations entre les différentes variantes et éléments du système.

3.3.4.5. Modèles support à la gestion de configuration

Dans cette sous-partie, nous nous intéressons à la manière donc sont modélisées les associations entre les différents éléments et variantes du PSS, au niveau fonctionnel et structurel. Cette modélisation repose sur la description de la diversité présentée précédemment (voir Figure 3-43).



Figure 3-43 Focus sur la gestion de configuration

À partir de la description de la diversité des éléments de solution, les méthodes de gestion de configuration permettent de définir les liens entre les différentes variantes de système et de structurer ces liens sous forme de configuration. Dans la proposition, une configuration correspond à un ensemble possible d'éléments de solution permettant la résolution des exigences du PSS. L'enjeu est alors de modéliser la correspondance entre les différentes variantes du système et les compatibilités entre elles. La matrice des interdépendances présentée en Figure 3-44 permet de représenter les compatibilités entre les différentes variantes du système. Dans cette matrice, chaque tête de colonne est aussi une tête de ligne, c'est une matrice symétrique. Un « 0 » correspond à une incompatibilité entre des variantes.

		Solution									
		Générique			Générique			Générique			
		Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	
Solution	Générique	Var.	X	x	X	0	1	1	1	0	0
		Var.	X	X	x	1	0	0	0	1	1
		Var.	X	x	X	0	1	0	1	0	1
	Générique	Var.	0	1	0	X	x	X	0	1	1
		Var.	1	0	1	X	X	x	1	0	1
		Var.	1	0	0	X	X	X	1	0	0
	Générique	Var.	1	0	1	0	1	1	X	X	X
		Var.	0	1	0	1	0	0	X	X	X
		Var.	0	1	1	1	1	0	X	X	X

Figure 3-44 Matrice des interdépendances entre les variantes de solution du système

La méthode de gestion de configuration présentée par (JC. Aurich et al., 2009) est utilisée dans la proposition et adaptée au concept de lexique de diversité.

La capabilité, présentée ci-avant, permet de lier les architectures fonctionnelles et structurelles. Cette association est réalisée dans les vues de composition. L'allocation est valide lorsque les éléments de solution doivent remplir l'ensemble des fonctions définies au dernier niveau de l'architecture fonctionnelle. Or, ils sont éventuellement définis par plusieurs variantes, ce qui induit que différentes configurations de solutions permettent de satisfaire les fonctions, comme présenté en Figure 3-45. Dans cette figure, chaque élément de fonction i (F_i) peut posséder une ou plusieurs variantes de fonction j ($F_i.V_j$). De même, chaque élément de solution générique k (S_k) peut posséder une ou plusieurs variantes l ($S_k.V_l$). Une fonction peut être réalisée par différentes variantes de composants.

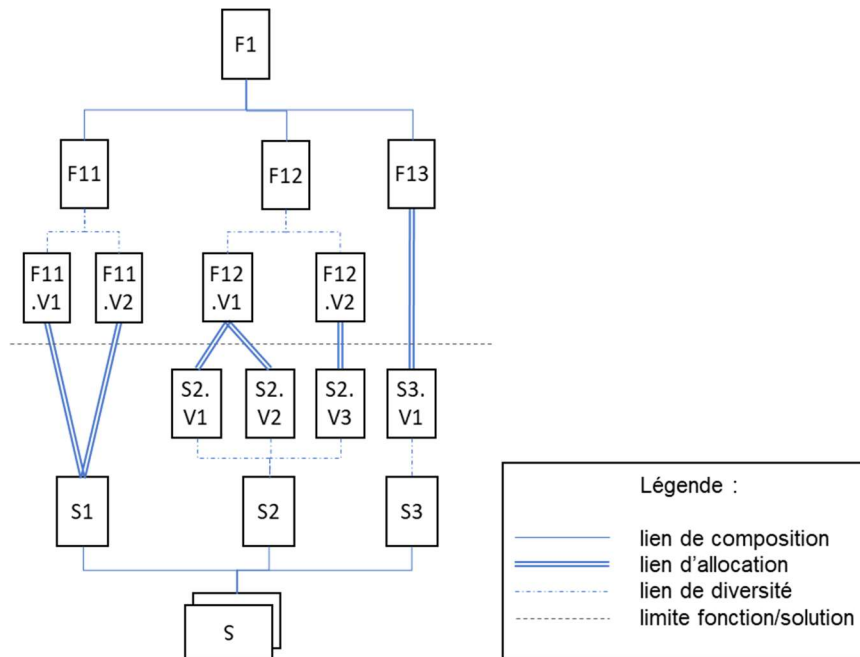


Figure 3-45 Allocation fonctionnelle dans le cadre de la diversité des éléments de solution

La matrice d'allocation est également utilisée dans le cadre de la gestion de la diversité. Elle permet de vérifier qu'une configuration d'un PSS, c'est-à-dire l'association d'un certain nombre de variantes, satisfait l'ensemble des fonctions définies par l'architecture fonctionnelle.

L'allocation permet donc de lier des éléments de fonction et des éléments de solution, qu'ils soient génériques ou variantes. Un lien d'allocation peut aussi être caractérisé par une applicabilité et être associé à des critères de diversité. La Figure 3-46 illustre l'association de critères de diversité à la capacité, d'après l'exemple présenté en Figure 3-40. Dans cet exemple, l'allocation fonctionnelle permet de déterminer les éléments de solutions qui constituent les lignes du tableau. La matrice de capacité décrit les liens de capacité entre les éléments de solution. Une valeur « 1 » signifie que l'élément de solution satisfait la fonction. Une valeur peut aussi être donnée par un critère. Cela signifie que la capacité est effective sous le critère de diversité mentionné. Dans l'exemple, la fonction « Envoyer sur route » a pour solution P4, P5 dans tous les cas, P6 et S1 pour le critère « AboConnect » et S2 pour le critère « SansAbo ».

Élément de solution	Diagnostiquer le moteur à distance						
	Diagnostiquer le moteur		Alerter sur IHM			Envoyer le statut de diagnostic	
	Diagnostiquer partiellement	Diagnostiquer complètement	Alerter par audio	Alerter visuellement sur événement	Alerter visuellement en préventif	Envoyer sur route	Envoyer en garage
P1 Calculateur moteur	1	1					
P2 Calculateur injection		1					
P3 Calculateur FAP		1					
P4 Système multimédia			1	1	1	1	
P5 Calculateur central						1	1
P6 Calculateur connectivité						AboConnect	
S1 Service connectivité véhicule						AboConnect	
S2 Service de tethering						SansAbo	

Figure 3-46 Matrice de capacité pour l'allocation fonction-solution intégrant des critères de diversité

Dans ce qui précède, nous avons présenté comment la proposition permet de gérer la diversité des éléments de fonctions et des éléments de solution, ainsi que la manière dont les variantes sont associées. Dans la suite, nous présentons comment cette gestion de la diversité permet aussi de définir plusieurs scénarios d'utilisation d'un PSS.

3.3.4.6. Cas particulier : utilisation de l'applicabilité pour supporter différents scénarios de réalisation

Lors de la conception d'un PSS, il est possible de déterminer plusieurs scénarios de réalisation du PSS. Par exemple un service de robot-taxi peut comporter un scénario dans lequel tous les véhicules sont indisponibles et un scénario dans lequel il y a des véhicules disponibles. Afin de supporter les différents scénarios à la conception, la proposition se base sur la gestion de la diversité fonctionnelle telle que définie précédemment.

Plus précisément, nous utilisons des variantes de fonctions associées à des états de fonctionnement. Pour reprendre l'exemple présenté en Figure 3-47, nous ajoutons une variante de fonction « Envoyer message erreur » qui s'applique quand le véhicule, qui possède capacités de connectivité traduites par « Connect », n'est pas apte à utiliser ces capacités, ce qui se traduit par le critère « ConnectNonOK », par exemple dans le cas d'une défaillance ou d'un manque de réseau de communication. L'applicabilité de la variante « Envoyer sur route » se voit enrichie du critère « Connect OK » et devient « (IHM Gen.1 OU IHM. Gen.2) ET Connect ET ConnectOK » tandis que l'applicabilité de la variante « Envoyer message erreur » est « Connect ET ConnectNonOK »

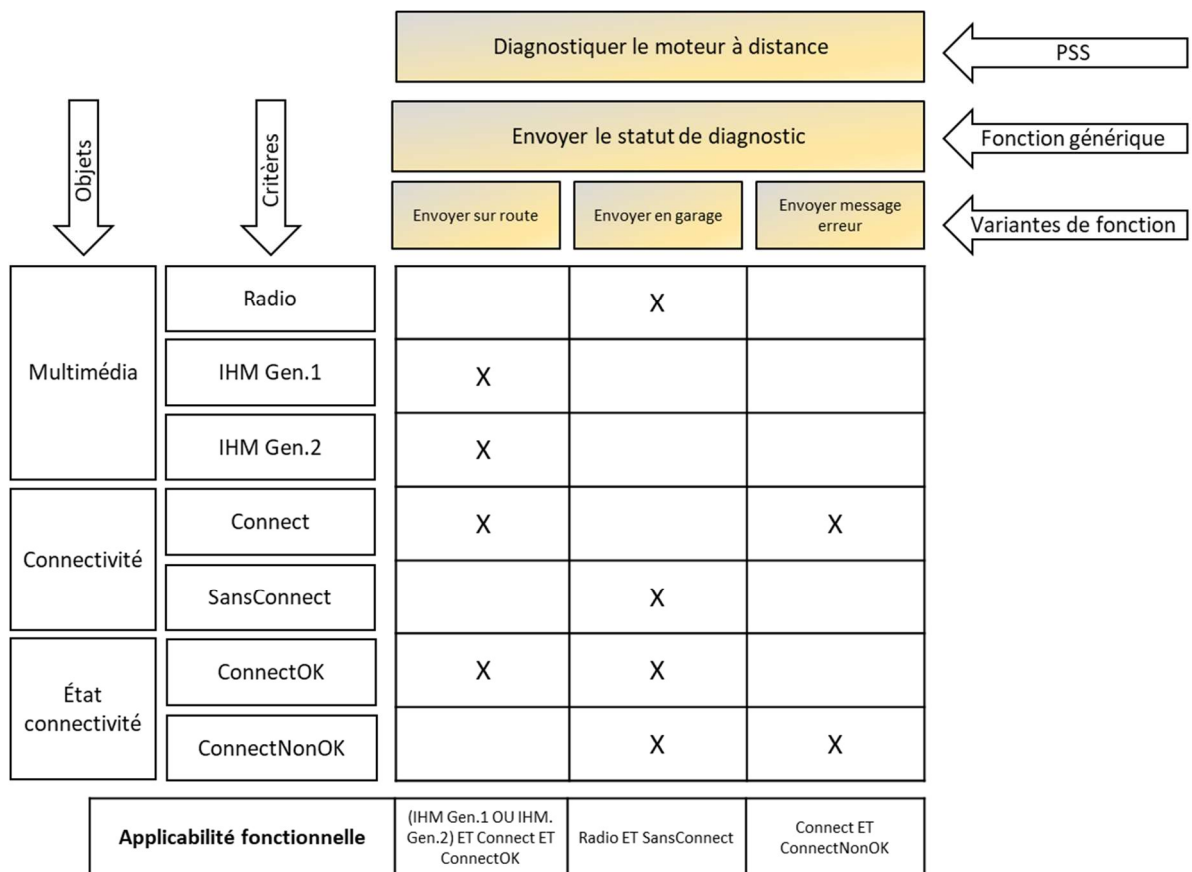


Figure 3-47 Illustration de l'intégration des scénarios de fonctionnement dans les variantes de fonctions

La diversité ainsi illustrée permet de paramétrer un PSS en fonction des différents de scénarios. Elle est liée à la réalisation de différents scénarios qui sont définis par les vues comportementales.

Dans la section qui précède, nous avons présenté l'ensemble des modélisations que nous intégrons à la proposition. Elles traduisent les orientations des niveaux des approches et des processus, méthodes et outils, dans le but de répondre à la problématique. Dans la prochaine partie, nous présentons comment ces modélisations y répondent.

3.3.5. Réponse aux critères d'analyse pour la modélisation de PSS

Dans cette partie, nous synthétisons comment la proposition au niveau de la modélisation des PSS permet de répondre critères d'analyse des travaux et d'après les éléments de l'état de l'art étudiés. Dans la proposition, nous nous sommes basés sur les différentes contributions de l'état de l'art et nous avons proposé de répondre à ses manques. Le Tableau 3-7 présente comment la proposition y répond à tr

avars chacun des critères d'analyse.

Critère d'analyse	« Les modèles doivent permettre de... »	Limites de l'état de l'art	Réponses dans la proposition
	Proposer une modélisation centrée sur les concepts de produit et le service de manière à pouvoir les considérer individuellement et modéliser les interactions entre les produits et les services	Peu de détails sont donnés sur la distinction entre produits et services qu'il faudra éliciter et appliquer dans les modèles d'architecture.	L'ensemble des modèles est construit sur la dualité produit/services. Avant l'allocation fonctionnelle, les PSS sont décrits de la même manière que les services. Le choix de distinction entre produits et services se base sur la distinction entre les solutions appartenant au véhicule et les solutions autres. Les interactions entre produits et services sont établies dans les modèles de PSS et traduites dans l'architecture structurelle.
	Représenter la décomposition du système depuis le PSS jusqu'aux sous-éléments les plus petits	Il est nécessaire de mettre en cohérence les décompositions des architectures fonctionnelles et structurelles.	Les architectures fonctionnelles et structurelles du PSS sont utilisées pour décomposer le PSS en sous-éléments jusqu'au niveau des composants de produit ou de service. L'allocation fonctionnelle permet de lier ces deux architectures.
	Décrire la diversité associée au niveau des éléments du système et décrire les liens d'applicabilité et de configuration.	Il est nécessaire de décrire parallèlement la diversité du produit, du service et de modéliser l'association entre ces variantes.	La proposition met en œuvre une gestion de la diversité descriptive d'une part et associative d'autre part. Pour décrire la diversité, les critères de diversité sont associés aux variantes par la notion d'applicabilité. Pour associer les différentes variantes, des matrices d'interdépendance supportent la configuration et la capacité assure le lien entre les fonctions du PSS et les solutions de nature produit ou service.
	Modéliser les aspects dynamiques des PSS	Il est nécessaire de définir comment les vues comportementales du système sont associées aux architectures fonctionnelles et structurelles.	Les vues comportementales sont employées à tous les niveaux de décomposition du PSS et permettent de décrire les aspects dynamiques du PSS. Elles sont associées aux éléments de l'architecture fonctionnelle et aux éléments de l'architecture structurelle. Elles décrivent notamment les flux entre les fonctions, les interfaces des éléments de solution, ainsi que les processus de réalisation des services en faisant apparaître les notions de ressource et résultat et en proposant des alternatives de scénarios de réalisation. Les scénarios de réalisation se traduisent par des variantes de fonction et des configurations de l'architecture fonctionnelle.
	Définir comment les infrastructures sont modélisées dans le PSS	Les infrastructures sont intégrées en tant que ressources dans les modélisations du PSS.	Les infrastructures sont définies comme des ressources de service et sont référencées à travers les processus de service. Elles sont modélisées comme des composants physiques, spécifiées par des exigences et associées aux instances de service
	Permettre de structurer les demandes des différentes parties prenantes du développement de PSS. Permettre d'échanger les représentations de PSS avec les différents acteurs de la conception.	L'intégration des parties prenantes repose sur des exigences, qu'il est nécessaire d'associer à des vues partagées dans le développement.	En début de conception, la description des phases du cycle de vie permet d'associer différentes parties prenantes. L'utilisation des exigences à tous les niveaux de la conception du PSS permet de décliner les besoins des parties prenantes aux différents éléments du PSS. La conception pluridisciplinaire est supportée par les exigences associées à des modèles de référence qui permettent de spécifier les services et produits et de partager ces spécifications aux différents métiers de conception.
	Déterminer comment les données d'usage et leur utilisation sont modélisées	La gestion des données d'usage implique des disciplines d'ingénierie logicielle et d'architecture des systèmes d'information, qui utilisent des modélisations spécifiques.	Les différents traitements des données d'usage sont modélisés par des services spécifiques qui composent les PSS.

Tableau 3-7 Réponse aux critères d'analyse pour les modélisations de PSS

Dans ce chapitre, nous avons proposé un ensemble de modèles structurant les informations relatives au développement et à la gestion des PSS cohérent avec les éléments de la proposition au niveau des approches et des processus, méthodes et outils. L'apport de la proposition se concentre particulièrement sur la conception des PSS, dans une logique qui se veut participer à la construction d'un modèle de référence du PSS qui sera utilisé tout au long de son cycle de vie. Pour cela, les modélisations de PSS se basent sur l'architecture fonctionnelle et l'architecture structurelle, qui sont utilisées dans des vues de composition et dans des vues comportementales. En parallèle de ces architectures, les exigences permettent de formaliser le besoin associé au PSS et de l'allouer à ses décompositions. Des modèles sont aussi présentés pour supporter la diversité du PSS. Le chapitre suivant a pour objectif d'illustrer, via deux cas d'étude industriels, la mise en œuvre de cette proposition.

Chapitre 4 Mise en œuvre

L'objectif de cette mise en œuvre est d'illustrer l'application de la proposition en réponse à la problématique à travers deux cas concrets de PSS automobiles. Pour ce faire, deux cas d'étude industriels issus de l'entreprise Renault sont développés. Le premier concerne un service existant et maîtrisé, il s'agit du service d'approvisionnement des garages en pièces de rechange. Le second cas d'étude s'intéresse à un nouveau service de diagnostic à distance.

4.1. Cas d'étude n°1

4.1.1. Motivations du choix du cas d'étude n°1

Dans le souci d'inscrire les travaux de thèse dans le domaine industriel, un premier cas d'étude a été choisi en réponse à des besoins de l'entreprise. Dans cette partie, nous présentons comment nous avons choisi le PSS du premier cas d'étude.

4.1.1.1. Orientation du cas d'étude n°1 sur la qualité d'un service d'E&R

Pour ce premier cas d'étude, l'intention est de valider les modèles proposés. Les modèles de PSS permettent de structurer de l'information qui peut être utilisée pour d'autres usages que la conception du système. Dans le cas d'étude n°1, c'est pour un usage d'amélioration de la qualité des services d'Entretien & Réparation (E&R) que les modélisations du PSS ont été exploitées.

4.1.1.2. Démarche de choix du cas d'étude n°1

La démarche de choix du cas d'étude est présentée à travers la Figure 4-1 dont les étapes sont détaillées ci-dessous.

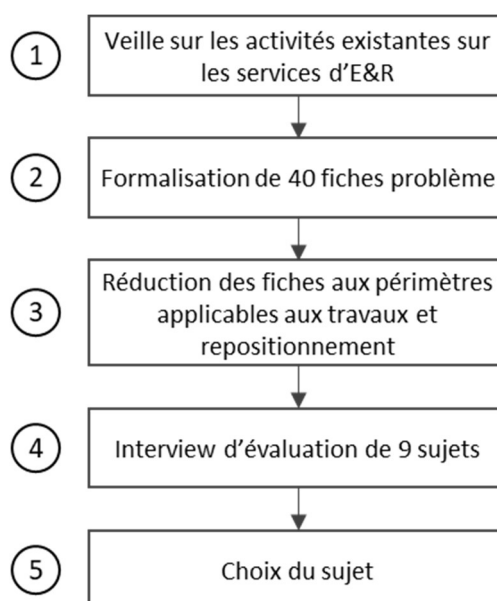


Figure 4-1 Démarche de choix du sujet du cas d'étude n°1

-
1. Dans le but de s'inscrire dans l'amélioration de la qualité des services d'E&R, une veille active a été réalisée auprès des différents collaborateurs de la direction de l'ingénierie Après-Vente Renault. Une variété de contributeurs a été interrogée sur les problématiques qu'ils rencontrent dans leurs activités de développement de service. Il s'agit d'employés travaillant directement au service des processus opérationnels qui bénéficiaient d'une vision proche des méthodes et outils pratiqués mais aussi d'employés supports aux processus opérationnels qui possèdent une expertise sur les processus opérationnels.
 2. Ces différentes interviews ont permis de recenser 40 sujets qui ont été formalisés à travers des fiches de recueil standardisées. Ces fiches de recueil intègrent des informations sur le contexte du problème rencontré, notamment si la problématique concerne des processus opérationnels ou des processus de management, quelles sont les activités d'E&R concernées, quels sont les impacts sur le développement de services et quels sont les livrables concernés. En effet, le développement de services d'E&R est articulé autour de livrables qui sont les ressources mises en œuvre dans la réalisation des services, soit de la documentation technique, des outils informatiques ou des outils mécaniques.
 3. Parmi ces 40 problèmes recensés et traduits en fiches, certains ne sont pas applicables aux travaux de recherche car ils ne s'inscrivent pas dans le cadre des recherches menées ici. Par exemple, les problématiques propres à des temps de réponse des systèmes informatiques ou liées à la gestion des connaissances ont été éliminées. Ensuite, les sujets ont été repositionnés dans le cadre des travaux, permettant de les analyser avec le recul apporté par les résultats de l'état de l'art et de la proposition. Cela a abouti à 9 sujets consolidés.
 4. La sélection du sujet du cas d'étude n°1 a été réalisée grâce à des interviews auprès des chefs de service et chefs de projets de l'ingénierie Après-Vente Renault (iDAV). Pour cela, chaque sujet a été qualifié à travers des indicateurs qualitatifs. Ces indicateurs représentaient l'impact attendu, noté sur chacun des 9 sujets en termes de qualité des services d'E&R pour leur bénéficiaire, pour chacun des livrables de l'iDAV. Ils étaient formés de 3 à 5 indicateurs élémentaires sur chacun des livrables, synthétisés par une moyenne arithmétique en un indicateur clé pour chaque livrable. Cette table d'évaluation des sujets par indicateurs est présentée en Figure 4-2. En complément de ces évaluations chiffrées, les interviews qualitatives ont aussi permis de recenser des commentaires pertinents quant à la qualification des différents sujets.

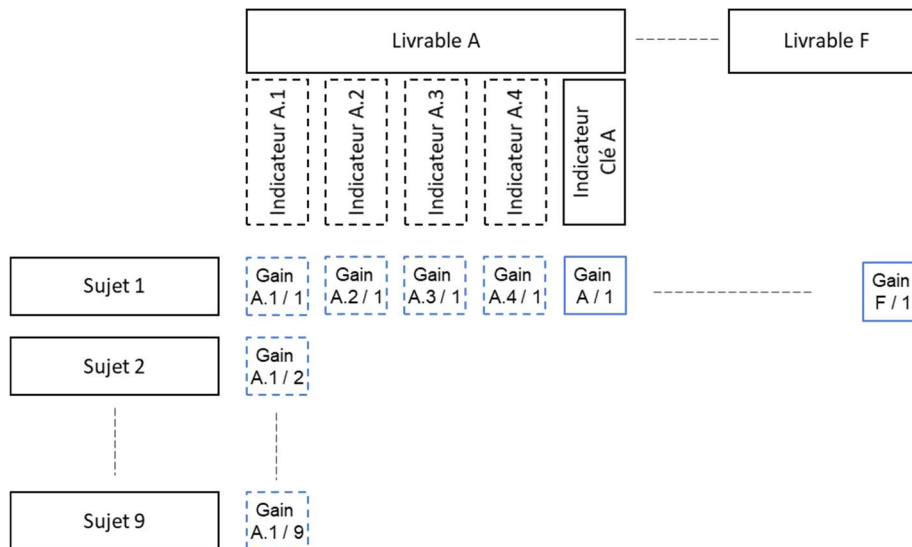


Figure 4-2 illustration de la table d'évaluation des sujets par indicateurs pour chaque livrable

- À la fin de ce processus, les 9 sujets ont donc été qualifiés pour leur pertinence dans les travaux de recherche et pour leur intérêt dans le contexte industriel. Le sujet sélectionné est directement issu de cette sélection de sujets et s'intéresse aux insatisfactions des utilisateurs de service. Il s'agit d'une démarche de valorisation des informations de non-qualité émises par les utilisateurs du service d'approvisionnement des pièces de rechange.

Dans cette partie, nous avons présenté le processus de choix mis en œuvre pour le cas d'étude n°1. Ce choix s'inscrit dans la volonté d'appliquer et qualifier les éléments de proposition de la thèse, en cohérence avec des objectifs industriels et les verrous scientifiques identifiés.

4.1.2. Description du cas d'étude

Dans cette partie, nous décrivons le PSS considéré dans le cas d'étude n°1. Le cas d'étude développe un processus de mesure de la qualité d'un service d'approvisionnement des pièces de rechange (PR). Il correspond ainsi aux processus de la catégorie « *measurement process* » de l'IS (ISO/IEC/IEEE 15288:2015). Dans un premier temps, le service d'approvisionnement est présenté, puis le cas d'étude sur ce service est présenté.

4.1.2.1. Service d'approvisionnement de pièces de rechange

Ce service s'inscrit dans un PSS plus global incluant deux classes de produit et deux classes d'infrastructure. En effet, l'approvisionnement des pièces de rechange se base sur la définition technique du véhicule pour l'après-vente (la nomenclature après-vente) et le véhicule physique en opération d'E&R mais aussi sur des infrastructures d'approvisionnement en pièces de rechange et sur le système de commande de pièces de rechange.

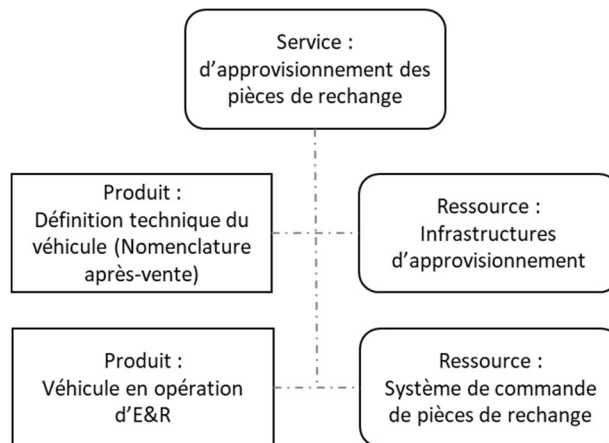


Figure 4-3 Le PSS concerné dans le service d'approvisionnement de pièces de rechange

Le service d'approvisionnement est décrit en Figure 4-4. Dans un premier temps, le service est déclenché par l'arrivée en garage d'un véhicule à réparer. À son entrée en garage, la liste des opérations à effectuer est définie. Cela permet d'identifier quel type de pièce de rechange doit être utilisé pour les opérations d'E&R. À travers un système informatique de consultation du catalogue des pièces de rechange, le mécanicien peut déterminer précisément quelle est la référence de pièce à utiliser pour le véhicule. Cette référence est déduite de la définition technique du véhicule et du catalogue de pièces de rechange. La pièce est ensuite rendue disponible au mécanicien grâce aux infrastructures logistiques d'approvisionnement, qui vont soit déclarer la disponibilité en stock local du garage, soit déclencher une commande à l'entrepôt associé au garage. Enfin, le mécanicien utilise la pièce pour réaliser son opération. Les étapes 1 et 2 sont présentées à des fins de compréhension, le service considéré se concentre sur les étapes 3 à 6.

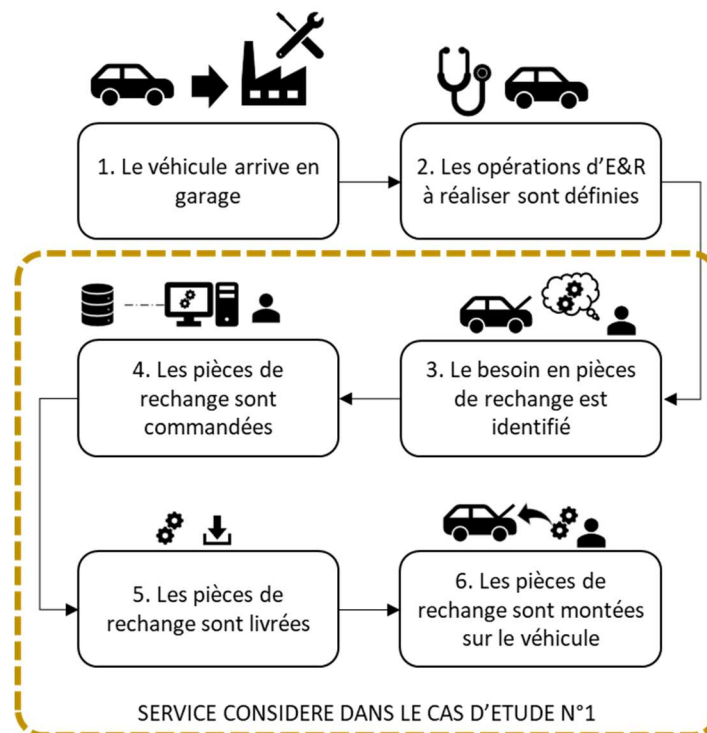


Figure 4-4 Présentation du service d'approvisionnement de pièces de rechange

Dans la section suivante, nous présentons comment le PSS que nous avons présenté ci-dessus est supporté par des démarches de suivi de qualité du service et en particulier par un processus de mesure des fonctionnements non nominaux du service et d'assistance.

4.1.2.2. Cas d'étude : mise en œuvre d'un *measurement process* basé sur la proposition

À tout moment entre l'étape 3 et l'étape 6 du service, le collaborateur en garage peut rencontrer un problème lors de l'approvisionnement des pièces de rechange. Ces problèmes peuvent être, par exemple, l'incapacité de déterminer la référence de la pièce à utiliser pour son opération d'E&R ou encore une erreur dans l'approvisionnement de la pièce. Pour assister le collaborateur face aux différentes éventualités, un processus d'assistance est mis en place par le constructeur automobile. Ce processus permet d'une part de résoudre le problème du collaborateur et lui permettre de réaliser ses opérations d'E&R et d'autre part de récupérer des données sur les problèmes éventuels rencontrés dans la réalisation du service d'approvisionnement. Le processus d'assistance est présenté en Figure 4-5 pour l'exemple d'un problème intervenant lors de la commande des pièces de rechange. Dans ce cas, lors de la réalisation du service, le collaborateur rencontre un problème lors de la commande des pièces de rechange. Il émet alors une demande auprès des équipes de l'assistance technique qui traitent sa demande, la capitalisent et lui apportent une solution.

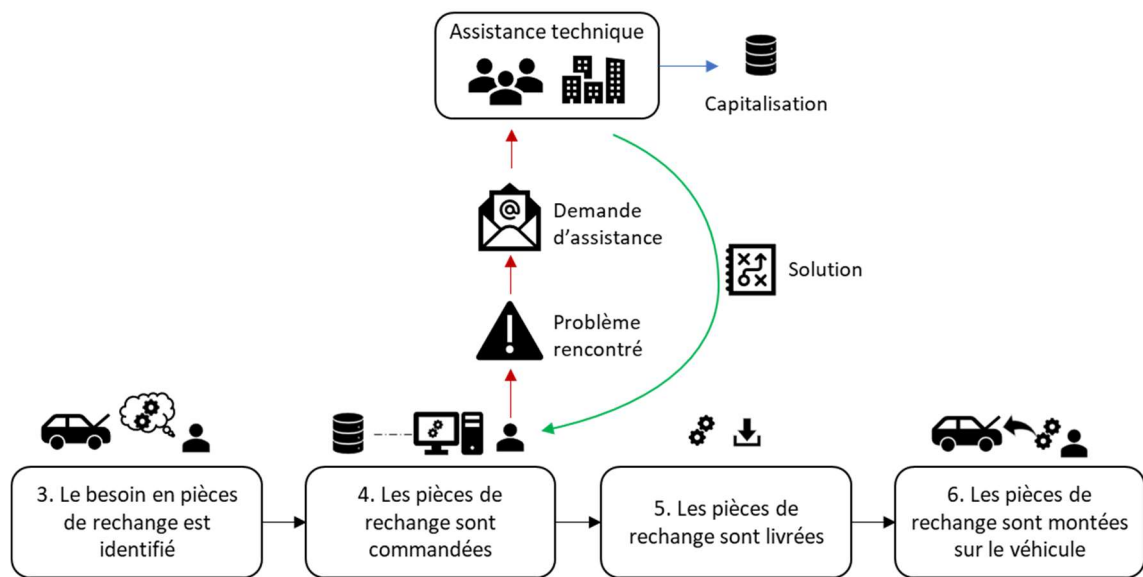


Figure 4-5 Exemple de l'intervention de l'assistance technique dans le service d'approvisionnement de pièces de rechange

Le cas d'étude s'intéresse à comment valoriser les différents problèmes capitalisés par l'assistance technique. Les enjeux en termes de développement de PSS de ce cas d'étude sont :

- La capacité à représenter un PSS dans une approche considérant le service comme un système technique. Auparavant, ce service d'approvisionnement était formalisé par la production des livrables nécessaires aux différentes étapes qui le composent. En d'autres termes, les représentations du service étaient des jalons spécifiques à l'après-vente dans le processus de développement du produit, certifiant que le véhicule était prêt à être réparé lors de sa disponibilité à la vente.

-
- La capacité à proposer des métriques sur le service d’approvisionnement de pièces de rechange contextualisées avec la configuration du produit. Pour cela, il faut lier les informations issues de l’approche PLM (la définition technique du véhicule) aux informations issues de l’approche SLM (la description de ce service avec les éléments de la proposition). Les données capitalisées de l’assistance technique sont des données propres au service d’approvisionnement de pièces de rechange et sont liées au véhicule, notamment aux informations relatives à la diversité du véhicule. Cela permet de mettre en avant des variantes du produit qui sont plus sensibles à des problèmes relevés à la réalisation de ce service.

Dans cette partie, nous avons présenté le service concerné par le cas d’étude n°1 et son contexte. Le paragraphe suivant explicite dans quelle mesure la problématique et la proposition correspondent aux enjeux cités ci-dessus.

4.1.3. Travaux couverts dans ce cas d’étude

Le service considéré dans cas d’étude n°1 ne reprend pas l’ensemble de la proposition mais certains de ses éléments. Le second cas d’étude est plus ample et aborde l’ensemble des aspects de la proposition. Dans la partie qui suit, nous expliquons quels éléments des travaux de recherche sont mis en œuvre à travers ce premier cas d’étude.

Les principales limites de ce cas d’étude en regard de la problématique et de la proposition sont issues du fait que nous avons mis en œuvre un cas d’étude sur l’extension d’un service existant. Ce choix de cas d’étude permet de se baser sur un service maîtrisé. L’enjeu dans l’application de la proposition à ce cas d’étude est de tester les éléments centraux de la proposition, tels que les différentes modélisations du PSS. Il nous permet ainsi d’appréhender comment traiter ces données dans une logique service typique d’une approche SLM. Le périmètre du premier cas d’étude est précisé ci-dessous.

4.1.3.1. Le cas d’étude n°1 et la problématique de recherche

La problématique mentionne les approches et représentations de PSS utilisées dans le cadre du développement et la gestion du PSS. Ce cas d’étude repose sur la mise au point de représentations de PSS jusqu’alors inexistantes qui sont définies dans une logique orientée PSS plutôt que produit.

Sur les sept critères précisant la problématique définis en contexte, le cas d’étude intègre fortement les suivants :

- Niveaux de décomposition. Le PSS concerné par ce cas d’étude est défini selon une démarche de décomposition du système en sous-systèmes, en passant par les différentes architectures nécessaires (fonctionnelles, structurelles).
- Dynamique du PSS. Une description comportementale du PSS permet de déterminer les flux entre les fonctions.
- Gestion de la diversité produit-service. Ce cas d’étude lie des événements de non qualité du service à des configurations du produit, comme présenté dans le deuxième enjeu. Il se situe donc dans le cas d’un produit défini par une grande diversité (le véhicule existant) et d’un service qui est, lui, exprimé sans diversité.

- Infrastructures. Dans ce cas d'étude, les infrastructures exploitées dans la réalisation du service sont définies comme des éléments constitutifs du PSS. Grâce à cela, les résultats de l'outil de mesure prennent en compte ces infrastructures.

4.1.3.2. Le cas d'étude n°1 et la proposition

Dans le premier cas d'étude, la proposition est employée sur chacun de ses niveaux, mais à des degrés différents.

Au niveau des approches d'ingénierie, la proposition s'intéresse aux interactions entre le PLM et le SLM pour le développement et la gestion des PSS. La distinction proposée entre produits et services implique de considérer le véhicule à travers l'approche PLM et les services ainsi que leurs infrastructures à travers l'approche SLM. Elle est appliquée ici. Dans le PSS considéré, les représentations du véhicule sont supportées par les approches PLM, tandis que le SLM supporte les représentations du service. Dans la démarche d'exposition des interactions entre produits et services, c'est l'ingénierie système qui est mise en œuvre à travers la spécification d'un PSS.

Au niveau des processus, méthodes et outils d'ingénierie, la proposition se définit par une démarche de conception d'un système mettant en œuvre des méthodes d'architecture des systèmes, de gestion de la diversité et d'ingénierie des exigences. Dans le cas d'étude, ce processus et ces méthodes de conception ont été suivis pour décrire le PSS affilié au service.

Au niveau des représentations de PSS, la proposition décrit le PSS comme un système défini par un ensemble cohérent de plusieurs vues : fonctionnelles, comportementales et structurelles, mais aussi par des critères de diversité ainsi que des exigences. Ces représentations sont mises en œuvre dans ce cas d'étude.

Dans la suite, nous présentons comment les éléments de la proposition sont appliqués à ce cas d'étude et permettent d'amener la logique d'intégration PLM-SLM aux activités de l'entreprise au travers de ces travaux de recherche.

4.1.4. Application de la proposition

Dans ce cas pratique nous adoptons une démarche d'enrichissement du service existant pour modéliser le PSS. L'application de la proposition au cas d'étude est réalisée en deux phases. Dans ce qui suit, la première phase est présentée. Au cours de celle-ci, le PSS considéré est décrit en utilisant les modèles et les processus de développement proposés. La deuxième phase est la mise en œuvre des représentations du PSS pour spécifier un outil de mesure de qualité du service d'approvisionnement de pièces de rechange et sera présentée ensuite.

Le processus de développement proposé commence par la définition des besoins auxquels répond le PSS. La définition des missions du PSS est la première phase de son développement. Il nous permet de définir les éléments suivants :

- L'objectif de ce PSS est de : permettre au technicien de maintenance de disposer des pièces de rechange adéquates pour l'opération d'E&R qu'il doit réaliser
- La valeur entreprise de ce PSS est :
 - Réalisation du service d'E&R pour un client
 - Maîtrise de l'approvisionnement des PR
- Le préconcept du PSS est : une solution de commande permet de sélectionner la bonne pièce rechange et de déclencher son approvisionnement jusqu'au technicien de maintenance

Nous pouvons ensuite décrire le PSS comme un système à travers ses différentes phases de cycle de vie et son périmètre. Les phases de cycle de vie permettent de préciser les phases à considérer dans le développement et d'intégrer les différentes parties prenantes du PSS (voir Tableau 4-1). La partie prenante Région désigne les organisations commerciales qui pilotent les activités d'après-vente, notamment des garages. Elles sont regroupées par pays ou zone géographique. L'Ingénierie Après-Vente a en charge les études techniques relatives à la réalisation des services d'E&R, ainsi que la mise à disposition des outils d'atelier, notamment des outils informatiques comportant les données techniques d'E&R, telles que le catalogue de PR ou les méthodes de réparation. L'assistance technique est une organisation qui assiste les techniciens de maintenance lorsqu'ils rencontrent un problème. La logistique se charge des flux de pièces à destination des garages, donc des flux de PR dans le cas de ce service. Les techniciens de maintenance sont les garagistes à différents qui commandent les PR et réalisent les opérations d'E&R.

Phase	Description	Parties Prenantes
Implémentation	Mise en place du service, préparation des moyens informatiques, implémentation du service d'approvisionnement pour les garages	Régions, Ingénierie Après-Vente, Logistique
Réalisation	Phase de réalisation du PSS	Régions, Ingénierie Après-Vente, Assistance Technique, Logistique, Technicien de maintenance
Assistance	Résolution de problèmes	Régions, Ingénierie Après-Vente, Assistance Technique, Logistique, Technicien de maintenance
Maintenance du service	Actions de correction des problèmes rencontrés	Régions, Ingénierie Après-Vente, Assistance Technique, Logistique

Tableau 4-1 Phases du cycle de vie du service d'approvisionnement des PR

Le périmètre du système concerne le véhicule, le garage et les solutions informatiques de l'entreprise (voir Figure 4-6). Le garage est dans le périmètre du système dans la mesure où ce sont les techniciens de maintenance ainsi que les infrastructures du garage qui permettent de commander et utiliser les PR approvisionnées. Les solutions informatiques du constructeur (*Car manufacturer IT*) disposent des informations nécessaires à déterminer la PR adéquate au véhicule et pilotent le déclenchement d'une commande de PR. Enfin, le service d'approvisionnement de PR concerne la définition technique du véhicule, qui fait ainsi partie du périmètre du système.

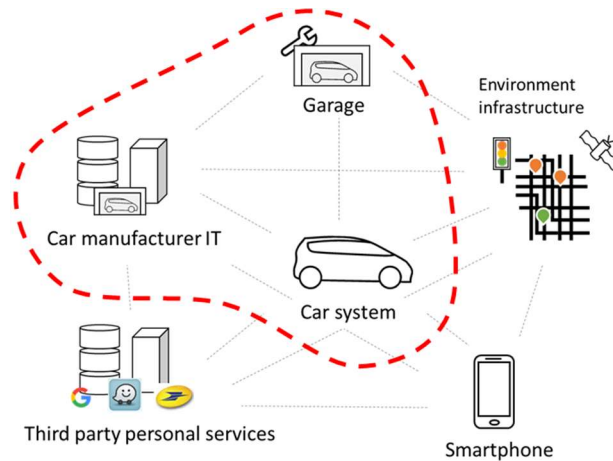


Figure 4-6 Périmètre du système pour le service d'approvisionnement de PR

Suite à cette description du système, nous abordons la définition du PSS par un diagramme de cas d'usage. Il fait écho aux objectifs du système, aux phases du cycle de vie, aux parties prenantes et au périmètre du système.

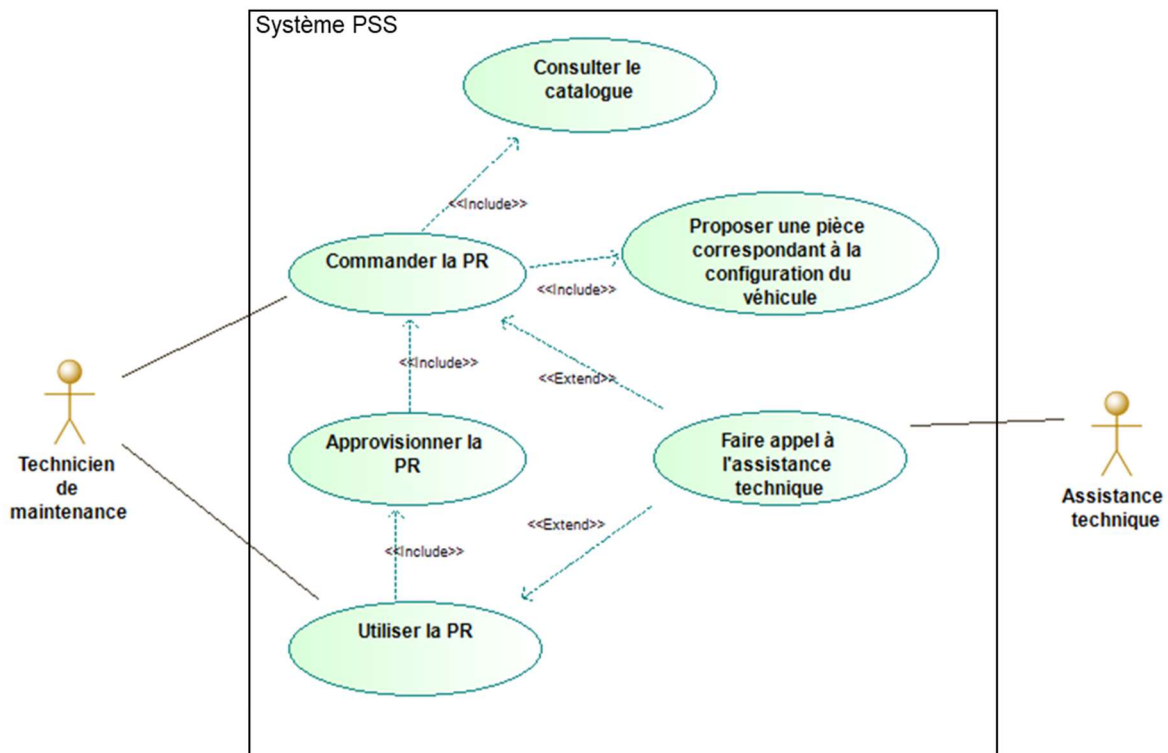


Figure 4-7 Diagramme de cas d'usage du service d'approvisionnement de PR

Dans ce diagramme de cas d'usage présenté en Figure 4-7, les deux acteurs sont le technicien de maintenance et l'assistance technique. Le technicien de maintenance réalise deux actions : commander la PR et utiliser la PR. Chacune de ces actions implique d'autres actions. Commander la PR nécessite de consulter le catalogue de pièces et de proposer une pièce correspondant à la configuration du véhicule. Utiliser la PR nécessite que le système approvisionne la PR. En cas de problèmes lors de la commande ou lors de l'utilisation de la PR, le technicien de maintenance peut faire appel à l'assistance technique (liens « extend »).

Ce diagramme de cas d'usage conclut la phase de la définition de la mission du PSS. Il est possible de commencer à décrire l'architecture fonctionnelle du système avec ces différentes informations. La liste des fonctions structurées par hiérarchie est présentée en Figure 4-8. La fonction principale est en tête de l'arbre, tandis que les fonctions sont détaillées jusqu'à atteindre un niveau permettant de spécifier les services. Cette architecture fonctionnelle se consacre uniquement à la phase de réalisation du PSS et ne comprend pas les fonctions d'assistance techniques par exemple.

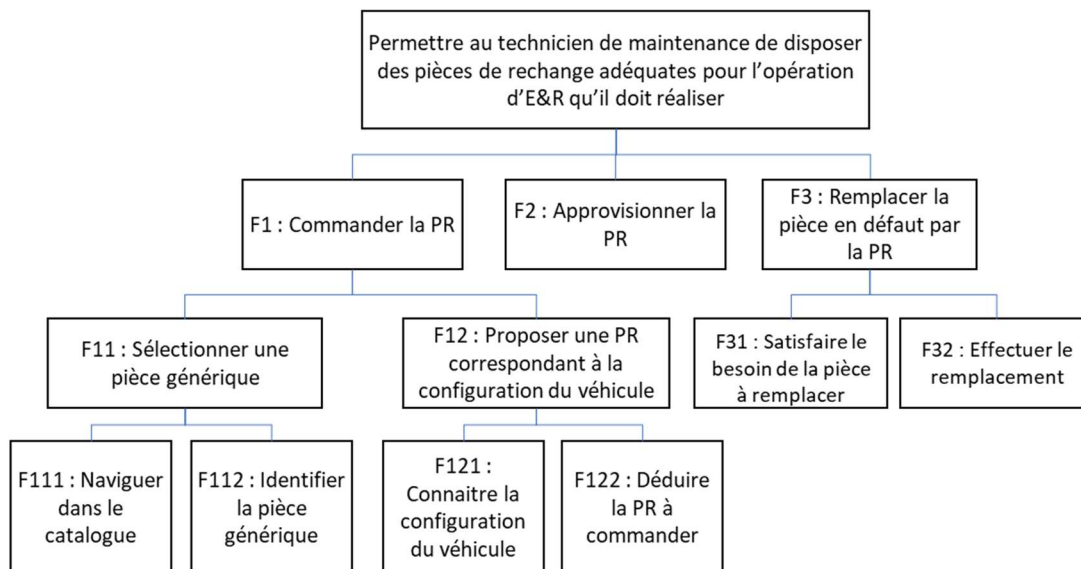


Figure 4-8 Vue de composition de l'architecture fonctionnelle du PSS

Afin d'illustrer les fonctions réalisées pour le technicien de maintenance, les écrans type du portail documentaire présente un extrait du catalogue de pièces Après-Vente en Figure 4-9. Avant de parvenir à cet écran, le technicien navigue dans l'arborescence du véhicule, des systèmes de plus haut niveau aux systèmes de plus bas niveau. Dans l'exemple, nous avons la visualisation des pièces associées aux systèmes Carrosserie - Ouvrants – Vitrages > Habillage extérieur > Ouvrants latéraux. Chaque étiquette présentée sur l'écran référence une pièce générique. Lors de la sélection de la pièce générique, la PR applicable est déduite à partir de la configuration véhicule. Le technicien peut alors lancer la commande de la pièce, la réceptionner et l'utiliser pour remplacer la pièce à changer. Derrière cette interface se trouve en réalité de nombreuses fonctions logicielles permettant de fournir le service, mentionnées précédemment.

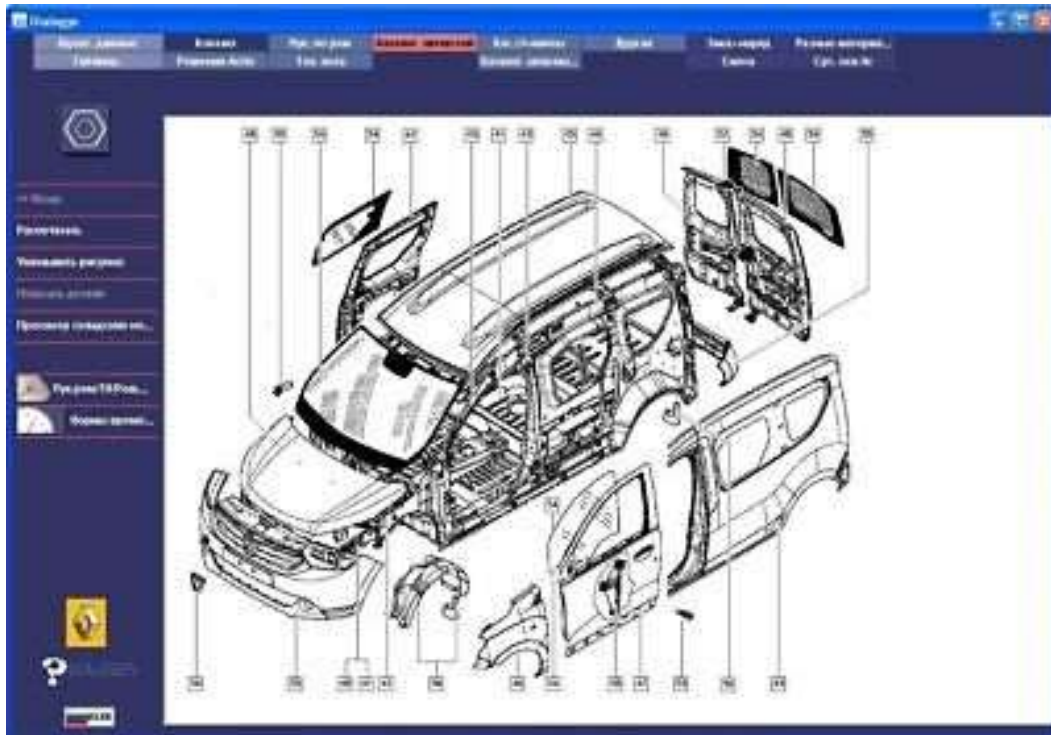


Figure 4-9 Capture d'écran du logiciel d'accès au catalogue des pièces de rechange

Cette représentation est complétée par la modélisation des fonctions faisant apparaître les flux entre fonctions. La vue comportementale de l'architecture fonctionnelle est présentée en Figure 4-10. Elle présente les fonctions du PSS pour la phase de réalisation, ainsi que les flux entre ces fonctions.

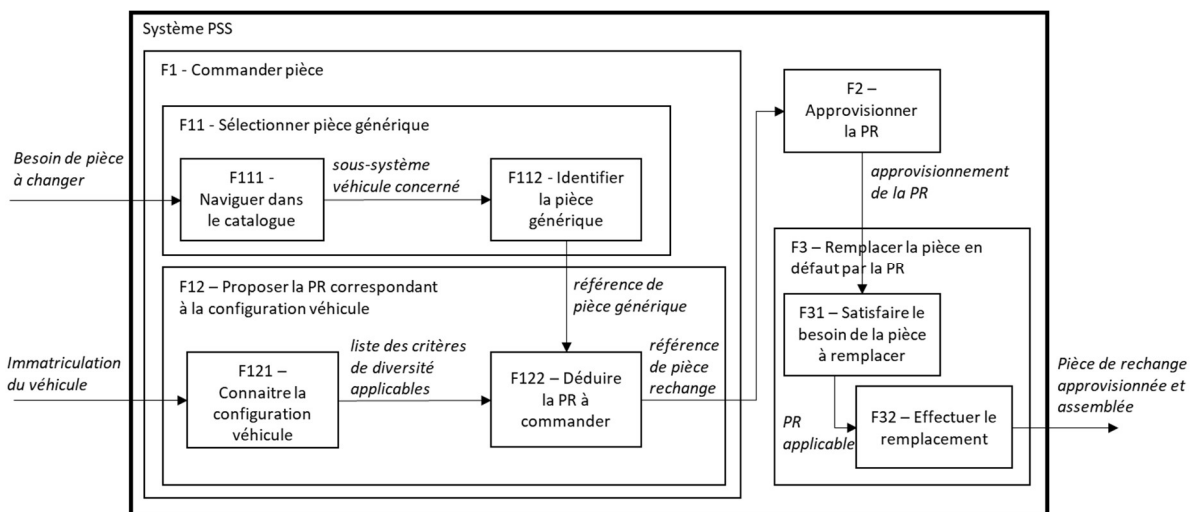


Figure 4-10 Vue comportementale de l'architecture fonctionnelle

La simplicité de ce premier PSS nous permet de représenter l'ensemble des fonctions sur une même vue. Cette représentation permet d'éliciter les flux entre les fonctions qui sont mentionnés en italique sur la figure. Dans une modélisation orientée objet, nous retrouvons bien les éléments de fonctions décrits par leur résultat (traduit par l'intitulé de la fonction), des entrées et des sorties qui correspondent à des flux de physiques, d'énergie ou d'information, ainsi que la notion de composition entre les fonctions.

L'allocation fonctionnelle nous permet d'attribuer des éléments de solution aux éléments de fonctions présentés ici. La matrice de capabilité présente les liens entre les éléments de fonction et les éléments de solution en Figure 4-11. Ainsi, les éléments de solution génériques déterminés pour satisfaire les fonctions du PSS sont de type service ou produit. Les solutions de service sont : le service de catalogue de PR, le service de données de configurations véhicule, le service de déduction de la PR, le service d'approvisionnement de la PR et l'opération d'E&R. Quant à l'élément de solution de type produit, il s'agit de la PR générique.

Éléments de générique de solution	F111 : Naviguer dans le catalogue	F112 : Identifier la pièce générique	F121 : Connaître la configuration du véhicule	F122 : Déduire la PR à commander	F2 : Approvisionner la PR	F31 : Satisfaire la fonction de la pièce à remplacer	F32 : Remplacer la PR
Service de catalogue de PR	1	1					
Service de données de configurations véhicule			1				
Service de déduction de la PR				1			
Approvisionnement de la PR					1		
Pièce rechange générique						1	
Opération d'E&R							1

Figure 4-11 Matrice de capabilité pour l'allocation fonctionnelle du PSS

La matrice de capabilité décrit les éléments de solution utilisés par le PSS. Ils sont regroupés au sein d'une architecture structurelle que nous présentons en Figure 4-12. La ligne horizontale en pointillés distingue les éléments génériques en partie supérieure des variantes de solution en partie inférieure. La particularité de ce PSS est qu'il ne comporte qu'un élément de solution de type produit et l'architecture structurelle du produit est donc linéaire, mais ce n'est pas une règle générale et reste un cas rare.

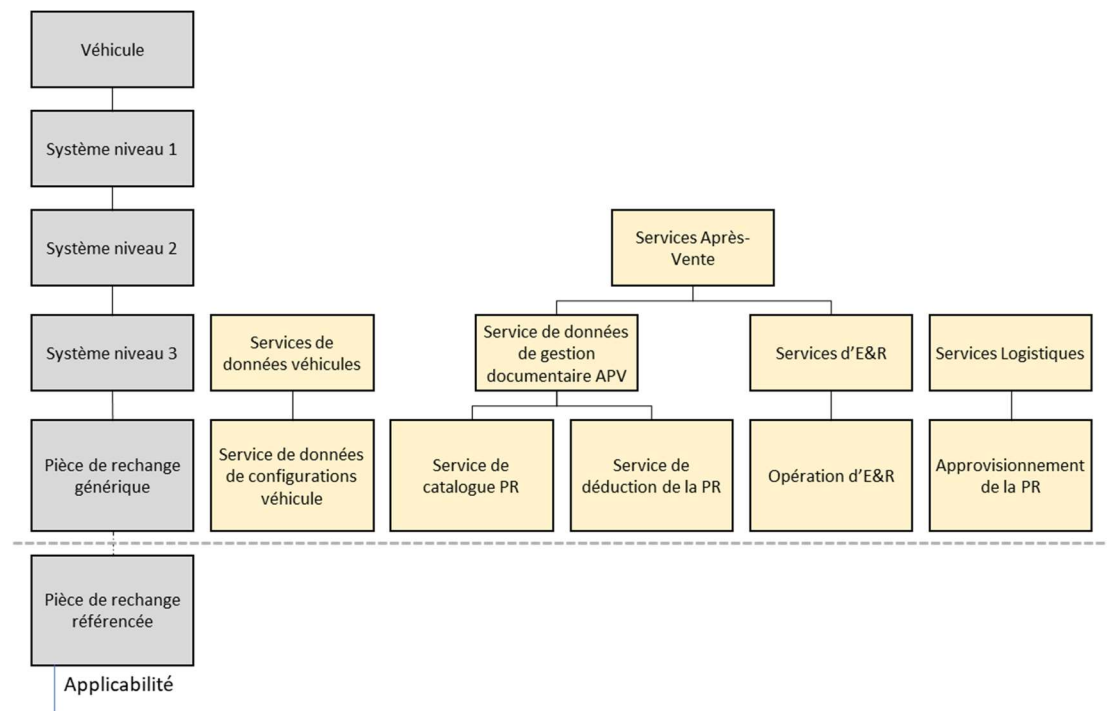


Figure 4-12 Architecture structurelle du PSS

Les éléments de solution de type service sont associés à des infrastructures de service. Ces infrastructures sont présentées en Figure 4-13.

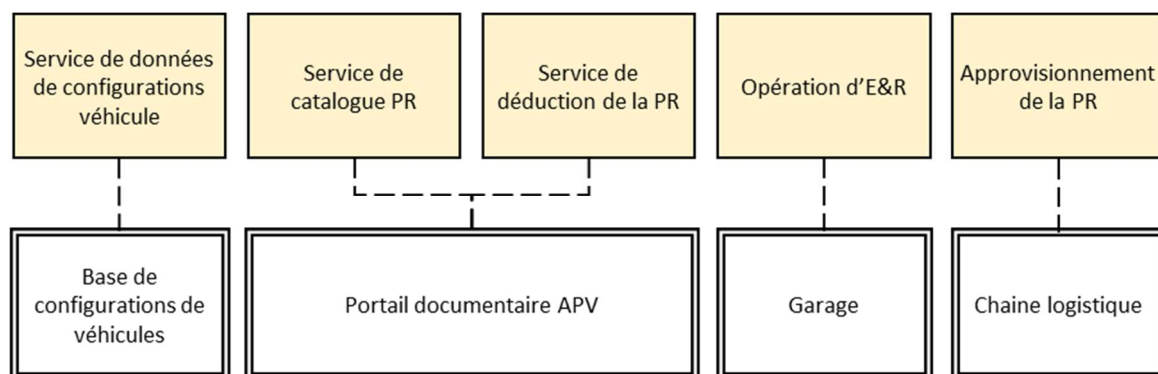


Figure 4-13 Association des solutions de service (en haut) aux infrastructures de service (en bas)

La gestion de la diversité pour ce PSS est réduite à la diversité du produit et à l'architecture structurelle. L'élément de solution « Pièce rechange générique » se traduit en une variante de produit « PR » possédant une applicabilité. Cette applicabilité est exprimée par les critères de diversité produit.

La pièce de référence est aussi associée à une décomposition du véhicule dans une vue d'architecture structurelle. Pour les opérations d'E&R, le véhicule est décomposé à travers trois niveaux de systèmes et un niveau de composants. Pour chaque PSS d'approvisionnement des PR, il est possible de définir l'applicabilité de la PR en jeu, ainsi que les différents systèmes du véhicules auxquels elle appartient. Cet ensemble est présenté de façon générique et exemplifiée en Figure 4-14. Dans l'exemple présenté, la PR concernée est le Toit Ouvrant Ref #123456789 » et possède l'applicabilité Break ET ToitOuvrant, qui décrit le fait que cette pièce est applicables aux véhicules en carrosserie Break et possédant un toit ouvrant..

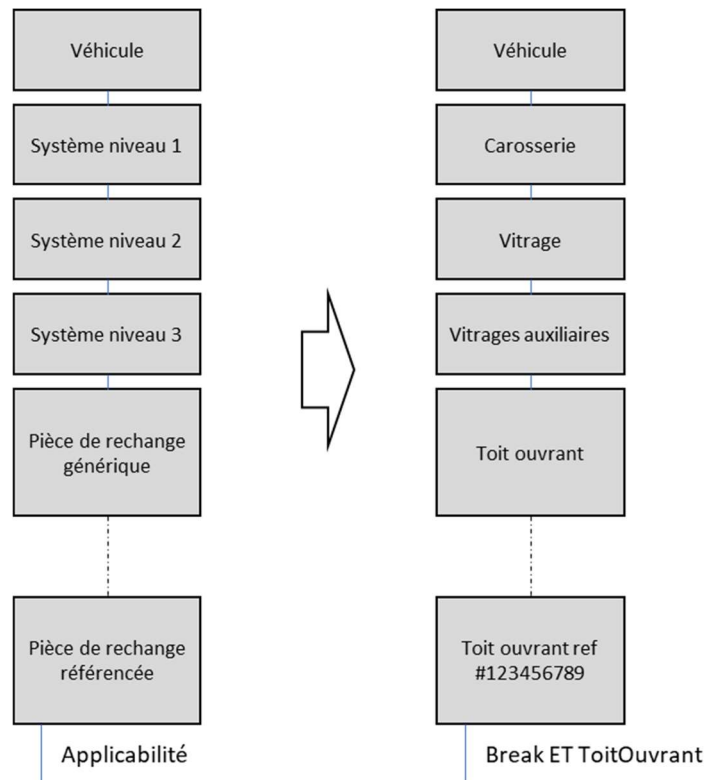


Figure 4-14 Architecture structurelle du produit, avec la variante et son applicabilité. À gauche, générique, à droite, exemplifiée

Dans cette partie, nous avons modélisé le PSS en suivant le processus de développement de la proposition. Cette modélisation a été spécifiquement pensée afin de déterminer des modèles de PSS utilisables dans la mise en œuvre d'un outil de mesure de qualité de ce PSS.

4.1.5. Développement d'un outil de mesure basé sur l'application de la proposition

Dans la partie qui suit, nous utilisons la modélisation que nous avons établi précédemment afin de définir un modèle de donnée utilisé pour un outil de mesure. Ce modèle de données doit permettre de traiter des informations de qualité recueillies via l'assistance technique.

4.1.5.1. Instanciation de la modélisation pour la mesure de la qualité du PSS

Un ticket Gestion des Alertes Réseau (GAR) est la capitalisation d'informations relatives à une demande d'assistance de la part d'un technicien de maintenance. Une partie des données qu'il recueille sont présentées en Figure 4-15. Il y est notamment mentionné l'immatriculation du véhicule qui permet de déterminer la configuration du véhicule concerné par le ticket. Il y est mentionné la PR concernée par le ticket, ce qui permet de déterminer l'ensemble des systèmes du véhicule concernés par ce ticket. Enfin, le ticket contient la caractérisation du problème rencontré, ce qui permet d'identifier quel service du PSS pose problème et quelle est la nature de l'erreur rencontrée.

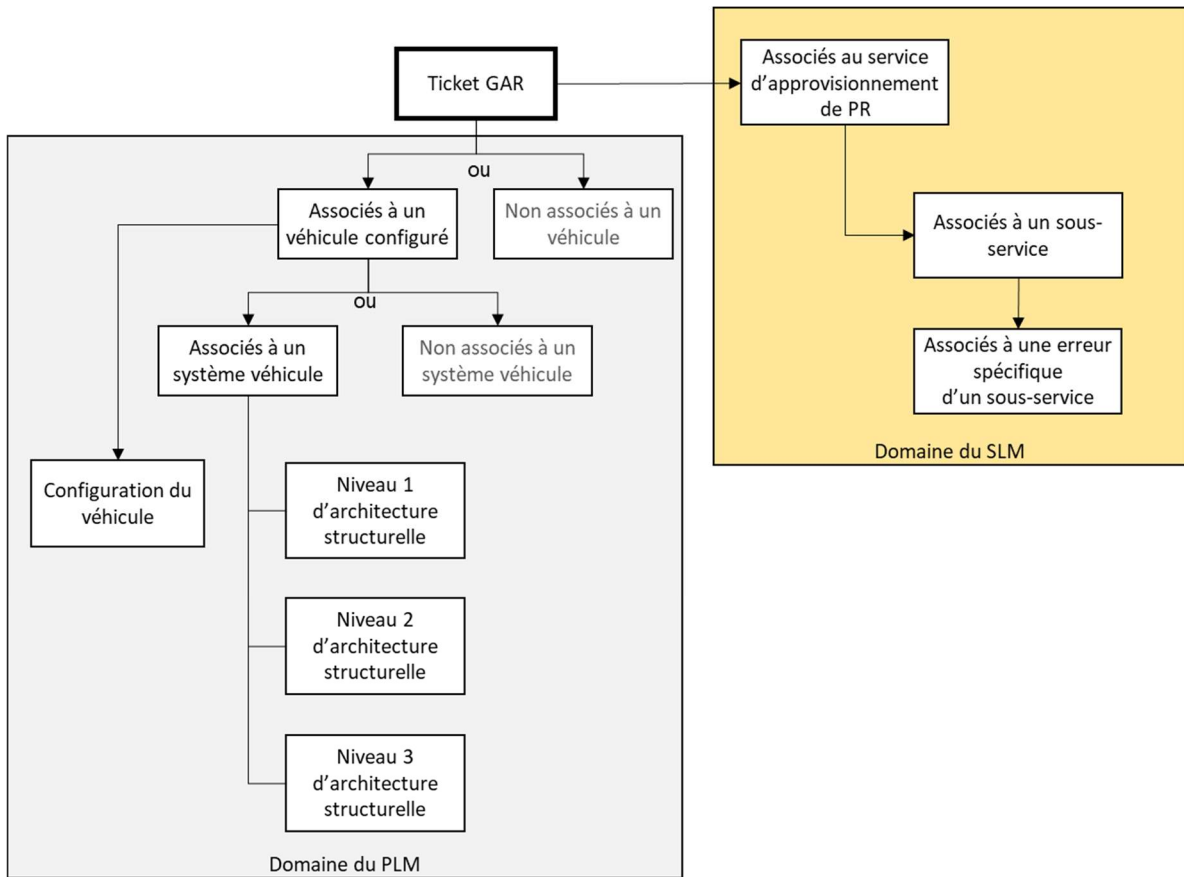


Figure 4-15 Données associées à un ticket GAR

Les informations dont nous disposons pour qualifier la réalisation d'un service sont centralisées autour du ticket GAR. La Figure 4-16 présente l'ensemble des concepts associés à un ticket GAR. Un ticket GAR est associé à une PR qui est désignée par sa référence commerciale. Elle appartient à un système véhicule de niveau 3, qui compose un système de niveau 2, lui-même associé à un système de niveau 1. Chaque ticket est associé à un véhicule réel, qui est configuré. De cette manière, l'ensemble de critères de diversité appliqués au véhicule sont associés au ticket. Enfin, le ticket mentionne le problème rencontré parmi une liste de problème prédéfinis. Chaque problème est associé à un sous-service. Les sous-service sont tirés de la modélisation du PSS que nous avons présenté précédemment.

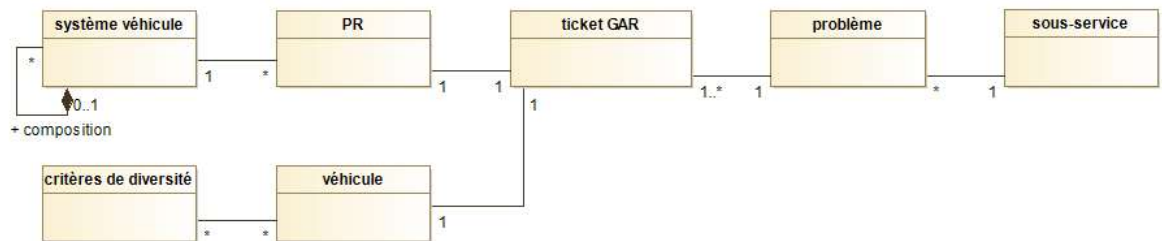


Figure 4-16 Métamodèle des données associées au ticket GAR et utilisées dans l'outil de mesure

Ces données nommées « ticket GAR » permettent donc de structurer les informations de service et, dans ce cas d'étude particulièrement, permettent de reconstituer des associations entre produits et services. Dans le prochain paragraphe, nous présentons comment ce modèle est instancié.

4.1.5.2. Application dans l’outil de mesure

L’outil développé propose de traiter les informations de qualité du service d’approvisionnement de PR, depuis la consultation du catalogue au remplacement de la pièce. Il permet globalement de rassembler un ensemble de données issues des tickets GAR et les traite ensemble pour produire des analyses quantifiées des données. L’avantage de cet outil est qu’il permet d’associer la diversité du produit aux sous-services et aux types d’erreurs. Il permet ainsi de réaliser des statistiques sur les erreurs relatives aux couples de service / produits. Cet outil permet aussi de représenter le couplage entre des sous-services et des critères de diversité de produit sur-représentés. En synthèse, il permet d’associer des informations issues des domaines du produit et du service afin d’identifier des causes racines dans le service.

Les trois clés d’analyse des problèmes de qualité sont donc les suivants :

- Le type de problème, associé à un sous service. Cela permet de déterminer quelle activité de l’entreprise est la cause du problème. Par exemple, la récurrence d’erreurs d’illustration indique des actions à mener dans la production de ces documents/notices/illustrations et concerne le service de catalogue de PR. Le Tableau 4-2 présente l’ensemble des problèmes recensés et leur association à des sous-services qui composent le PSS.

Sous-service	Problème associée possible
Service de catalogue de PR	- Erreur d’illustration - Offre de PR proposée
Service de données de configurations véhicule	- Échec d’accès à la configuration véhicule
Service de déduction de la PR	- Erreur de déduction
Approvisionnement de la PR	- Conformité PR
<i>Aucun des sous-services ci-dessus</i>	- <i>Autres</i>

Tableau 4-2 La typologie des problèmes possibles et leur association aux sous-services

- Les systèmes du véhicule. Chaque ticket fait référence à un sous-système de niveau 3, de niveau 2 et de niveau 1. Cette vue structurée est utilisée par les métiers de l’après-vente. Un exemple non exhaustif de cette composition est présenté en Tableau 4-3.

Système Niveau 1	Système Niveau 2	Système Niveau 3
Carrosserie – Ouvrants - Vitrage	Habillage extérieur	Bouclier avant
		Bouclier arrière
		Bandeau latéral
	Vitrage	...
	Ouvrants non latéraux	...
	Caisse assemblée	...

Moteur et périphérie	Moteur thermique	Carter
		Attelage moteur
		Culasse
	Circuit de refroidissement	...
	Circuit d'alimentation	...
	Démarrage	...
	Échappement	...

Tableau 4-3 Extrait de la composition du véhicule en sous-systèmes

- Les critères de diversité associés au ticket GAR. Chaque ticket est associé à une immatriculation de véhicule qui permet d'extraire les critères de diversité utilisés dans la configuration de ce véhicule. Ainsi, il est possible d'associer la PR du service aux critères présents dans le véhicule.

L'outil permet de visualiser un ensemble de tickets à travers des vues exploitant ces trois clés d'analyse. Pour produire les vues de mesure de la qualité, nous utilisons l'application TIBCO Spotfire, qui est une plateforme d'analyse et de visualisation des données. Spotfire est une application proposant de nombreuses vues, dont des exemples sont donnés en Figure 4-17. Afin de fournir ces visualisations, l'application utilise des tables de données déjà formalisées et comportant toutes les informations que nous souhaitons visualiser.

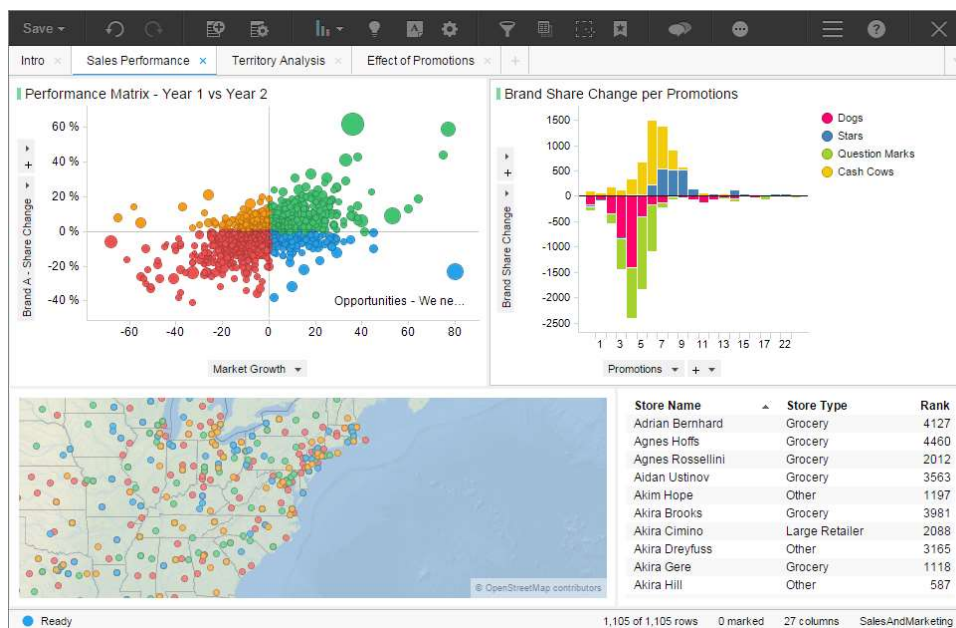


Figure 4-17 Exemples génériques des vues de l'outil d'analyse TIBCO Spotfire

Une étape de constitution de la table de données est réalisée. Cette table de données est le produit de la requête et de la transformation des données du modèle, stockées dans différentes bases et structurées différemment. Par exemple, les données de configuration du véhicule, les données d'architecture structurelle du produit, ainsi que les tickets GAR appartiennent à des bases de données différentes. Pour constituer le modèle de donnée conformément à celui présenté en Figure 4-16, nous

utilisons le langage de programmation R qui permet requêter et transformer les données issues de différentes sources pour fournir une unique table exploitable par Spotfire.

Le logiciel Spotfire nous permet d'une part de filtrer le jeu de données utilisé, ce qui permet à l'utilisateur de se concentrer sur un ensemble de ticket GAR, de services, de critères ou de systèmes de son intérêt. Un écran de l'application permettant d'utiliser des filtres selon certain de ces critères est présenté en Figure 4-18¹⁰. Il est par exemple possible de représenter les pays depuis lesquels les tickets GAR ont été émis, à travers le critère de pays de livraison associé au véhicule ou encore filtrer par problème rencontré (qui a été renommé « Origine de l'anomalie » par souci de conformité avec les vocabulaires métier) ou par système de niveau 1 (renommé également Arborescence Niveau 1).

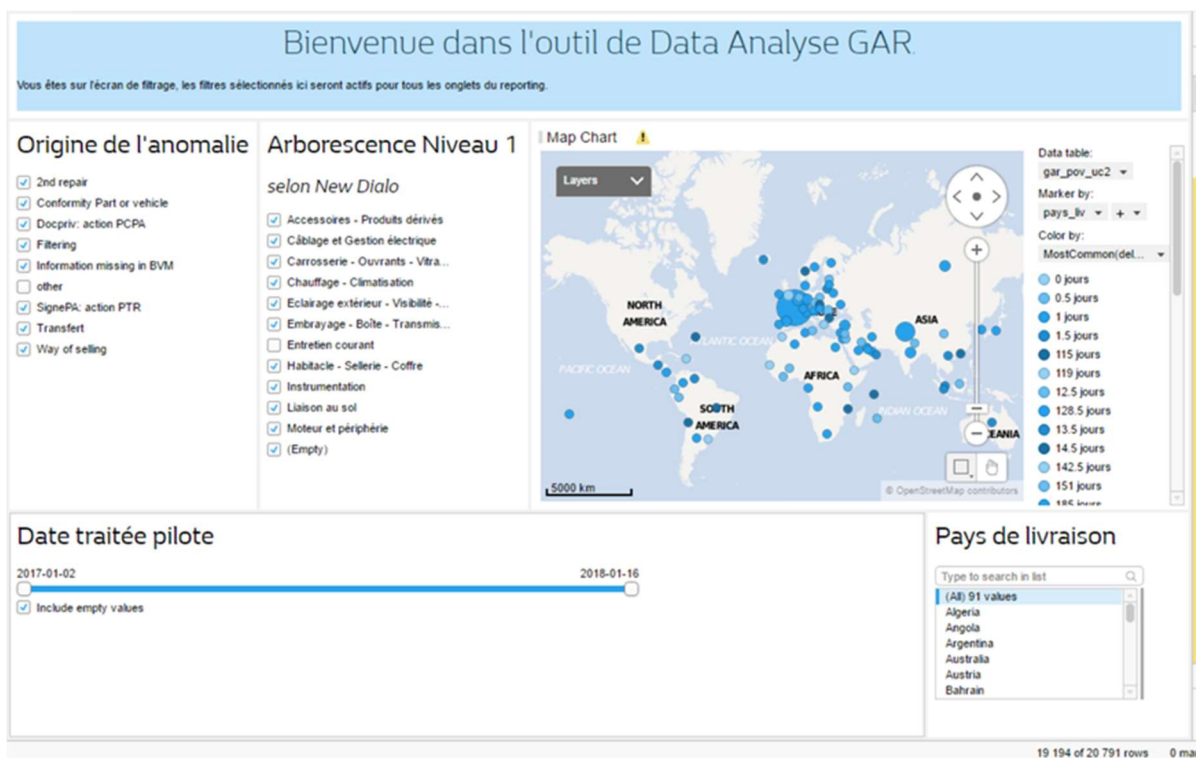


Figure 4-18 Écran de filtrage de l'outil d'analyse des tickets GAR

Après la sélection d'un jeu de données par le filtrage présenté ci-dessus, l'outil permet de présenter sous différentes formes visuelles les quantités de tickets GAR classés selon les clés d'analyse présentées ci-dessus.

Dans la suite, nous présentons deux vues de l'outil qui illustrent les visualisations possibles croisant les données sur les clés d'analyse présentées. En Figure 4-19, nous disposons d'une vue croisant le domaine de service à travers les problèmes associés aux services et le domaine de produit à travers l'architecture structurelle du produit. Chaque carré représente le nombre de tickets GAR correspondant au problème mentionné. Dans cette figure, la représentation est donnée pour les niveaux 1 et 2

¹⁰ Les différentes captures d'écran de l'outil ont été obtenues avec un jeu de données factices par souci de confidentialité.

d'architecture structurelle. L'application permet de naviguer dans les différents systèmes du véhicule, pour changer de niveau de décomposition, zoomer sur un système particulier, etc.



Figure 4-19 Une vue croisant problème de service et architecture structurelle du véhicule dans l'application Tibco Spotfire

L'outil permet de croiser les quantités de tickets GAR avec les critères concernés par ces tickets. La visualisation présentée en Figure 4-20 permet de représenter les critères de diversité d'un même objet de diversité qui apparaissent le plus fréquemment dans les tickets GAR. Cela permet de déterminer si un critère de diversité est corrélé à une proportion sensiblement plus grande de tickets GAR.

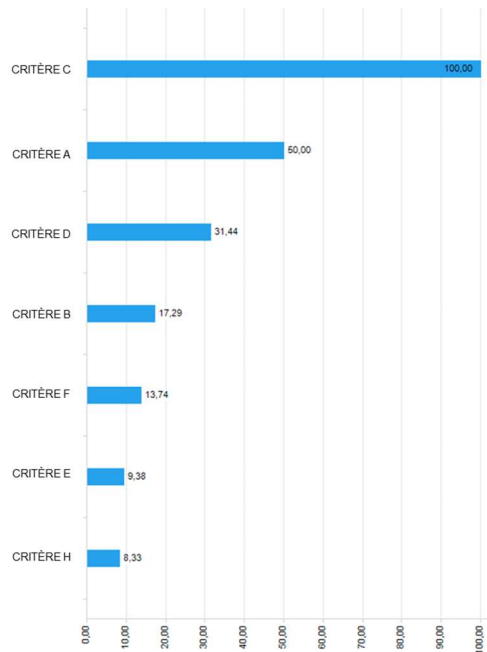


Figure 4-20 Score de proportion des tickets relatifs aux critères de diversité, anonymisés

4.1.5.3. Valorisation de l’outil pour l’entreprise

De nombreuses visualisations pour la mesure de la qualité sont réalisables à travers l’outil présenté. Grâce au modèle, chaque ticket GAR est associé aux données issues de l’architecture structurelle du véhicule, aux critères de diversité et aux sous-services. La solution logicielle choisie permet de créer facilement des nouvelles visualisations avec la table de données disponible. Dans le cadre du développement de l’outil, nous avons développé un rapport composé d’une vue de filtrage et de 7 pages de visualisation, conçues à partir des besoins spécifiques des utilisateurs de l’outil. Ce rapport est exploitable comme une page web avec plusieurs onglets à laquelle un utilisateur autorisé peut se connecter, choisir le jeu de données qui l’intéresse et naviguer entre les vues de l’outil.

Cet outil a suivi une démarche de développement dans l’entreprise mobilisant des acteurs de l’ingénierie Après-Vente traitant ces questions de qualité, ainsi que des acteurs de la direction informatique qui a réalisé les tâches de développement. Grâce à ces ressources, nous avons pu construire plusieurs prototypes dans une démarche agile pour, par ordre croissant, identifier et qualifier le besoin pour les utilisateurs, déterminer les principes de solutions informatiques mises en place, sélectionner une plateforme d’outils IT pour requêter les données, réaliser les fonctions de croisement des données et les mettre à disposition de l’outil de visualisation. Ensuite, nous avons proposé plusieurs processus et intégré les fonctions attendues par lots, en validant opérationnellement les différents développements successifs. Cela a abouti à un produit fonctionnel construit à partir de données extraites. À la fin de la période de présence industrielle de la thèse, l’outil a été fourni comme prototype abouti et des spécifications ont été émises pour le traduire en solution pérenne. Nous avons pu qualifier sa capacité à répondre aux besoins des équipes métier concernées par la mesure de la qualité du service d’approvisionnement de PR. Des processus de décision qui appartiennent à l’entreprise détermineront si l’outil entrera en phase de production.

Enfin, le développement de cet outil a permis d’apprendre sur les usages des données massives qui peuvent être faites à la direction Après-Vente. Les nouveaux services automobiles et la digitalisation des infrastructures de service impliquent la création de nombreuses données que l’entreprise peut

valoriser, si elle met en place des processus de gestion et des outils informatiques. L'application de ces logiques transversales aux produits et aux services a été valorisé par l'entreprise par un retour d'expérience sur la conduite de ces projets. Ce sont des activités nouvelles pour une direction d'ingénierie, basées sur des technologies de la science des données et impliquant de nouveaux usages, de nouvelles technologies et de nouvelles infrastructures pour mettre au point les outils de traitement des données. Plusieurs retours d'expérience ont permis de formaliser et de restituer les observations réalisées lors du développement de cet outil *Big Data*.

4.1.6. Validation des éléments de la proposition

Dans la suite, nous présentons quels éléments de la proposition ce cas d'étude a permis de valider. De manière globale, le premier cas d'étude a permis de définir des données de service dans un paradigme service, plutôt qu'en tant qu'attributs du produit. Un premier élément de validation est dans l'aptitude à aborder la description de l'activité en garage à travers des descriptifs issus du domaine du service.

Le processus de développement du PSS a été mis en œuvre dans ce cas d'étude à travers le recueil des besoins et la phase de description du PSS global, la définition de l'architecture fonctionnelle du PSS considéré puis l'allocation fonctionnelle pour déterminer les solutions utilisées et les infrastructures associées. Pour ce cas d'étude, nous avons mis en œuvre la diversité uniquement sur le produit, car le service existant n'est pas décliné par des variantes. L'expression de la diversité du produit nous permet d'identifier l'applicabilité du produit. Les critères de diversité associés au PSS sont alors décrit à chaque réalisation – donc à chaque fois qu'une PR est approvisionnée - en fonction de la configuration du véhicule qui est concerné. La diversité du produit est issue des solutions PLM dans lesquelles ces informations sont structurées.

Nous avons pu ainsi illustrer la proposition et valider sa capacité à définir les produits et services de manière à respecter des cycles de vie distincts, décrire un PSS avec plusieurs niveaux de détail, décrire les infrastructures de service du PSS et aborder les aspects comportementaux du PSS. Cependant, cette application au premier cas d'étude n'applique pas de diversité pour les services et ne met pas en œuvre la configuration de l'architecture fonctionnelle pour différents scénarios d'usage. Le deuxième cas d'étude permet d'aborder plus globalement la problématique et la proposition et est présenté ci-après.

4.2. Cas d'étude n°2 : service de diagnostic à distance

Le second cas d'étude, à l'instar du premier, s'inscrit dans le contexte industriel de cette thèse CIFRE. Il s'intéresse à un service de diagnostic du véhicule à distance. Dans la partie qui suit, nous présentons le cas d'étude, son périmètre d'application, ainsi que l'application de la proposition au cas d'étude.

4.2.1. Description du cas d'étude

Le cas d'étude s'intéresse au service diagnostic des véhicules. Dans un premier temps, la manière existante de réaliser le diagnostic est présentée, puis le service de diagnostic à distance est présenté.

4.2.1.1. Le service existant de diagnostic du véhicule

Les véhicules possèdent des capacités de diagnostic de leurs systèmes. Aujourd'hui, la majeure partie des diagnostics de véhicules sont réalisés en garage lors de la manipulation du véhicule par un technicien d'atelier. Le service de diagnostic actuel est présenté en Figure 4-21. Dans un premier temps, lors de l'arrivée du véhicule en garage, l'utilisateur du véhicule désigne le problème qu'il rencontre avec son véhicule. Le conseiller service, qui réceptionne le client, prend en note ces verbatims de l'utilisateur et les retranscrit en symptômes dans les systèmes informatique *Dealer Management (DM)*, associés au véhicule. Le véhicule est ensuite réceptionné en atelier pour le diagnostic. Le diagnostic du véhicule est réalisé grâce à deux processus. Le premier consiste, à partir des verbatims de l'utilisateur, à définir les symptômes d'un dysfonctionnement du véhicule. Un verbatim est une expression informelle d'une problématique rencontrée par l'utilisateur, en langage courant. Un symptôme est une définition formelle des effets d'un dysfonctionnement du véhicule, avec un vocabulaire déterminé. Les symptômes sont liés à des méthodes de diagnostic dans une base de connaissances. Ces méthodes de diagnostic indiquent un ensemble de tests et de vérifications à réaliser pour identifier la cause du problème et réaliser l'opération d'E&R pertinente. Le second processus de diagnostic consiste en la vérification des erreurs et incohérences enregistrées électroniquement dans le véhicule.

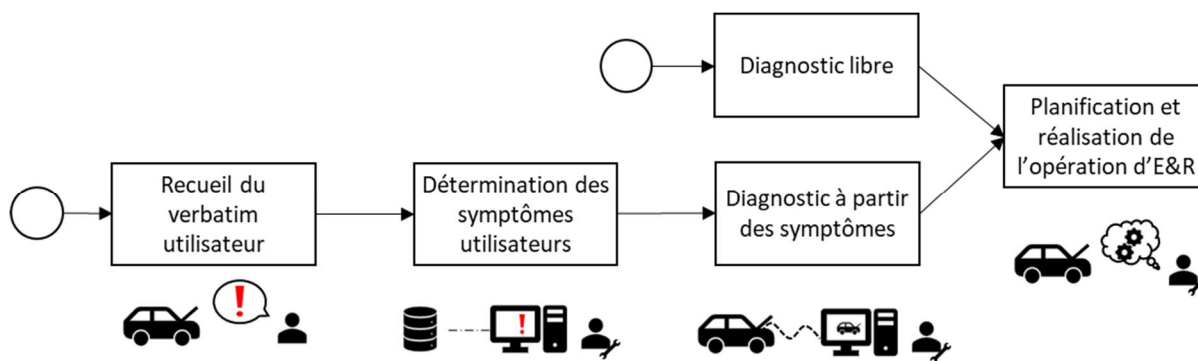


Figure 4-21 Service existant de diagnostic du véhicule

L'usage d'une interface de communication calculateurs (communément appelée la « valise ») est fréquent dans le premier cas, incontournable dans le second cas. Le véhicule possède un ensemble de calculateurs dans plusieurs systèmes, qui manipulent des données lors du fonctionnement du véhicule. Ces calculateurs sont appelés *Electronic Control Unit (ECU)*. L'interface de communication permet d'une part d'accéder aux variables présentes dans les ECU (tensions de batterie, température des systèmes, etc.) et d'autre part de relever des erreurs déclarées par les ECU. En effet, ils possèdent des capacités d'autodiagnostic qui permettent de désigner des erreurs. Les conditions de déclaration de ces erreurs sont déterminées à la conception de l'ECU en fonction des données qu'ils traitent.

Le diagnostic en atelier de réparation permet de résoudre un problème rencontré par l'utilisateur ou de déceler des problèmes latents non perçus. Il a comme limite principale d'être réalisé uniquement lors de la présence physique du véhicule en garage, ce qui implique que la visibilité des problèmes du véhicule se limite à l'intervention d'un technicien d'atelier. De plus, il intervient après l'arrivée de l'utilisateur au garage, en réponse à sa demande. La capacité de réaliser le diagnostic du véhicule à distance permet de lever cette limite et permet de transformer l'usage de ce service.

4.2.1.2. Le diagnostic connecté

Le véhicule est équipé de nombreux calculateurs mesurant les paramètres d'usage du véhicule et décelant des erreurs. De plus, les générations de véhicules existantes et à venir sont dotées de capacités de communication. La connectivité du véhicule couplée à ses capacités de mesure permet ainsi de traiter le diagnostic du véhicule en dehors de sa présence en garage. Dans ce cas de figure, plusieurs avantages se dessinent parmi les suivants : il est possible d'observer plus finement l'usage du véhicule et proposer une maintenance préventive plus poussée, voire une maintenance prédictive ; il est possible de préparer les opérations d'E&R en amont de l'arrivée du véhicule en garage et ainsi optimiser l'organisation des équipes de techniciens et les temps d'approvisionnement en pièces ; il est possible de proposer une vue plus avancée de l'état de fonctionnement du véhicule à l'utilisateur et lui proposer des conseils de conduite ; il est possible pour le constructeur de récupérer plus d'informations sur l'usage de ses véhicules en conditions réelles et à grande échelle.

Ce cas d'étude se concentre sur un service de diagnostic connecté applicable aux véhicules disposant des capacités de diagnostic et de connectivité. Plus précisément, le service considéré commence avec la récupération des mesures de fonctionnement du véhicule et aboutit à la formulation d'une information de diagnostic. Cette information de diagnostic permettra au choix d'informer l'utilisateur, de proposer un rendez-vous pour une prise en charge du véhicule ou de remonter les informations aux équipes de conception des véhicules pour leur fiabilisation.

4.2.2. Travaux couverts dans ce cas d'étude

De manière complémentaire au premier cas d'étude, le service de diagnostic connecté permet d'expérimenter la proposition sur l'ensemble de ses aspects.

4.2.2.1. Le cas d'étude n°2 et la problématique de recherche

La problématique de recherche, qui s'intéresse au développement des PSS automobiles à travers 7 critères d'analyse, se traduit pour le second cas d'étude par la prise en compte de chacun de ces critères.

- **Intégration des cycles de vie du produit et du service.** Le service de diagnostic connecté est applicable à de nombreux véhicules possédant leurs propres cycles de vie. L'enjeu pour ce PSS est de déterminer pour quels véhicules déjà développés le service est applicable, d'émettre des spécifications aux véhicules en cours de développement et de structurer cette information pour les prochains véhicules qui seront développés.
- **Intégration de plusieurs niveaux de définition du PSS.** Le PSS associé au service de diagnostic connecté fait appel à plusieurs sous-services ou systèmes de produits. Il est décomposable en sous-systèmes de PSS et s'inscrit donc dans ce critère.
- **Intégration de la diversité des produits, des services et leurs applicabilités.** Les véhicules sont équipés différemment selon les modèles et les capacités de diagnostic, de connectivité et de communication peuvent varier. Le service de diagnostic possède aussi plusieurs variantes, selon les politiques commerciales des marchés, les législations en vigueur, l'offre à laquelle le client a souscrit, etc. Pour ce PSS, il y a donc une diversité de produits et de services à gérer.

-
- **Intégration de la dynamique du PSS.** Ce PSS présente un usage très axé sur les aspects comportementaux du service et du véhicule. En effet, il dépend largement des états du véhicule et possède un process de service déterminé axé sur un enchaînement de séquences notamment en prenant en compte des évènements.
 - **Intégration des infrastructures support des PSS.** Le véhicule est en communication avec un serveur de données pour traiter les données qu'il émet et est aussi en relation avec un garage pour la planification des opérations d'E&R. Ce PSS intègre donc les infrastructures support.
 - **Intégration des parties prenantes dans le développement et l'opération du PSS.** Ce PSS concerne de nombreux métiers internes à l'entreprise, pour la conception des véhicules à travers des métiers mécaniques, électroniques, informatiques ainsi que pour la conception des services, dont les parties prenantes sont les équipes de développement des services informatiques, les équipes de l'ingénierie Après-Vente, les équipes de management des garages entre autres.
 - **Intégration de la gestion des données d'usage.** Les données d'usage du véhicule sont centrales dans ce PSS, qui se base sur la valorisation des données issues du véhicule, leur traitement par des systèmes centralisés. À terme, ces données d'usage seront capitalisées et permettront également de mieux comprendre l'usage et les sollicitations auxquels les véhicules sont soumis, permettant ainsi de concevoir et dimensionner les véhicules « tel que nécessaire » et non plus « tel que prédit ».

4.2.2.2. Le cas d'étude n°2 et la proposition

Ce cas d'étude permet de mettre en œuvre plus largement la proposition que le premier cas d'étude.

Au niveau des approches d'ingénierie, le second cas d'étude s'inscrit dans la démarche d'ingénierie système et se base sur une dualité des approches PLM et SLM. Il reprend le principe de dualité des modélisations produits et services basées sur la distinction proposée plus tôt dans ces travaux. Il s'intéresse aussi aux interactions entre les approches PLM et SLM. Sur les cinq dimensions en interaction que nous proposons à partir du modèle de (Silventoinen et al., 2011), il se consacre particulièrement à l'interaction des processus et des structures, minorant l'application des dimensions de stratégie et culture et personnes. La dimension d'architecture informatique est illustrée dans ce cas d'étude, néanmoins la mise en place d'outils informatiques support à cette proposition est trop importante pour être réalisée dans le cadre de ces travaux de recherche.

Au niveau des processus, méthodes et outils support à l'ingénierie des PSS, le cas d'étude met en œuvre l'ensemble de la proposition, en suivant les différentes étapes du processus et en appliquant les méthodes, notamment pour la définition des architectures et la gestion de la diversité des PSS. L'application à ce niveau est limitée elle aussi par les ressources disponibles et par le nombre et la diversité des contraintes dans le développement réel d'un service au sein de l'entreprise d'accueil. Par conséquent, nous avons mis en œuvre la proposition dans une démarche expérimentale et illustrative plutôt que pour le développement d'un service de diagnostic connecté en conditions réelles. Néanmoins, cette expérimentation a été réalisée avec la concertation de nombreux acteurs de l'entreprise concernés par le développement de ce type de services.

Au niveau des modélisations de PSS, le service de diagnostic connecté concentre l'ensemble des concepts pertinents et proposés dans ces travaux. Ce cas d'étude permet effectivement de représenter le

PSS avec des cycles de vie de produit et de service différents et de combiner les deux à travers les architectures système, fonctionnelles et structurelles, ainsi que les aspects comportementaux qui sont notamment à l'œuvre pour les processus de réalisation des services. La diversité produit-service du service de diagnostic connecté est elle aussi modélisée et éprouvée. Enfin, la modélisation des exigences permet d'organiser les nombreuses interactions nécessaires entre le développement des véhicules et du service.

4.2.3. Application de la proposition

La proposition est appliquée plus complètement dans ce second cas d'étude. Les processus de développement sont exposés, ainsi que les différentes modélisations utilisées, en respect des éléments proposés au niveau des approches. Pour des raisons de confidentialité, cette application reprend des éléments illustrant un cas de diagnostic connecté mais ne traduit pas les informations réellement mises en œuvre dans le développement du diagnostic connecté au sein de l'entreprise. Nous ne reproduisons pas ici le service tel qu'il est réellement décrit par l'entreprise, mais une formalisation de ce service qui nous permet d'illustrer et qualifier la proposition. Il reprend toutefois l'ensemble des éléments du contexte qui permettent d'assurer la mise en œuvre de la proposition.

4.2.3.1. Cadrage du PSS et définition des missions

Dans un premier temps, nous établissons l'équivalent de la note de cadrage du PSS, en commençant avec la description des missions. Nous les formulons comme suit :

- L'objectif de ce PSS est de mettre en œuvre un diagnostic du véhicule à distance lors de l'usage de celui-ci et capitaliser ces informations. Il se traduit en trois sous-objectifs :
 - Faciliter l'opération de diagnostic du véhicule
 - Assister le garagiste pour le traitement des cas de diagnostic complexes
 - Être assisté dans le suivi des opérations d'E&R du véhicule
- La valeur entreprise de ce PSS est
 - Optimisation des opérations de diagnostic en garage en les préparant en amont
 - Fidélisation du client
 - Fiabilisation du diagnostic pour décharger l'assistance technique et réduire les prises en charge garantie
 - Capitalisation d'expérience sur les réparations véhicule
- Le préconcept du PSS est une solution récoltant de l'information sur le véhicule, relié à des bases de données et algorithmes de traitement, capables de diagnostiquer à distance un véhicule et de cibler une réparation associée à un ensemble d'erreurs déclarées par les calculateurs du véhicule. Le véhicule est connecté, soit via des capacités de communication internes, soit par l'intermédiaire du smartphone de l'utilisateur. Le véhicule communique à l'utilisateur des éventuelles pannes avérées ou probables, le cas échéant.

Les différentes phases de ce PSS sont ciblées, ainsi que les parties prenantes associées (voir Tableau 4-4). Ces dernières sont différentes pour les phases de conception, d'implémentation, d'utilisation, d'apprentissage et de maintenance. Les Maitrises d'Œuvre (MOE) et Maitrises d'Ouvrage (MOA) pour les services connectés sont les équipes de conception des services comportant une forte partie logicielle. Cette distinction est fréquente en ingénierie logicielle, la MOA est garante du besoin

tandis que la MOE se charge du développement logiciel en respect des attentes de la MOA. L'expertise diagnostic est un acteur spécialisé sur la synthèse des codes erreurs (*Data Trouble Code*, DTC) pour déterminer la cause du problème de fonctionnement. La direction informatique porte la responsabilité des serveurs informatiques qui sont utilisés pour ces services. Elle intervient dans les phases d'implémentation et de maintenance du service, respectivement pour engager les éventuelles transformations technologiques des infrastructures informatiques ou pour assurer la maintenance technique de ces dernières.

Parmi les différentes phases, l'apprentissage est une phase spécifique d'un sujet orienté « *Big Data* » dans laquelle une masse de donnée est valorisée. C'est une phase pendant laquelle l'ensemble des données capitalisées sur les codes erreurs du véhicule (DTC) permettent de définir des schémas de diagnostic, en identifiant une cause et sa probabilité. Ils sont récupérés par « panier » qui désigne une liste de DTC apparus sur le véhicule. C'est l'utilisation couplée d'analyse statistique et d'une expertise métier sur le diagnostic qui permet d'identifier des schémas de diagnostic en fonction de ces paniers de DTC.

Phase	Description	Parties Prenantes
Conception	Conception détaillée du service, du produit et des infrastructures support	Ingénierie Après-Vente, MOE services connectés, MOA services connectés, Ingénierie véhicule
Implémentation	Mise en place du service, préparation des moyens informatiques, implémentation du PSS pour les garages	Régions, Ingénierie Après-Vente, Direction informatique, MOE services connectés, MOA services connectés
Utilisation	Phase d'utilisation du PSS	Régions, Technicien de maintenance, Client
Apprentissage	Apprentissage du couplage entre opération et panier de DTC	Expertise diagnostic, Ingénierie véhicule
Maintenance du service	Diagnostic et réparation des infrastructures de service	Régions, Ingénierie Après-Vente, Direction informatique

Tableau 4-4 Phases du cycle de vie du diagnostic connecté

Le périmètre du second cas d'étude concerne le véhicule, les services informatiques de l'entreprise qui manipulent et fournissent des données de diagnostic, les garages qui utilisent les données de diagnostic pour réaliser leurs opérations d'E&R du véhicule, ainsi que le smartphone utilisateur qui peut être utilisé pour lui communiquer des informations et/ou pour que le véhicule dispose d'une connexion internet. La Figure 4-22 présente le périmètre du système considéré.

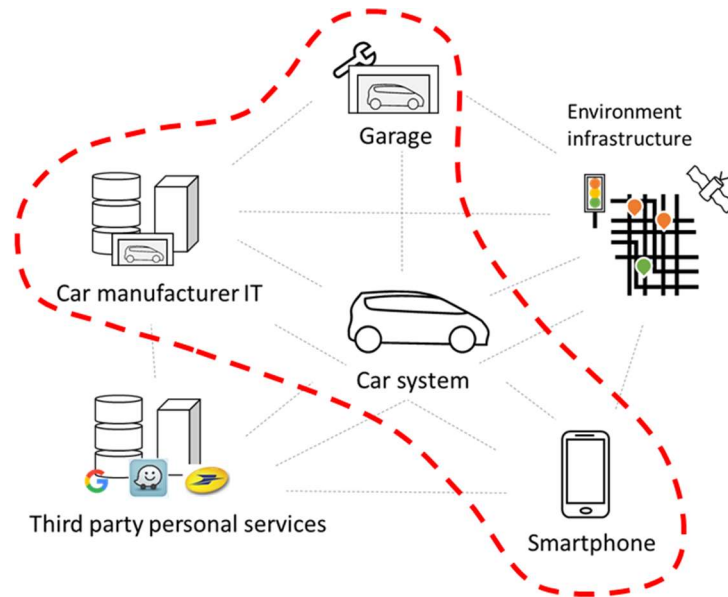


Figure 4-22 Périmètre du système pour le service de diagnostic connecté

Ces éléments de définition du système permettent de définir un diagramme de cas d’usage présenté en Figure 4-23, qui décrit le comportement haut-niveau du système, pour sa phase d’usage. Les cas d’usage principaux sont centrés sur l’utilisation du véhicule et l’apparition d’erreurs de fonctionnement (cas d’usage « Envoi DTC »), sur la gestion des informations de diagnostic (exploitation des données de diagnostic *Big Data*, capitalisation, apprentissage et identification des pannes), sur le signalement au client d’une panne éventuelle ou probable et des opérations de maintenance du véhicule avec son diagnostic et sa réparation. Il fait intervenir le client, l’expert réparation et le technicien de maintenance.

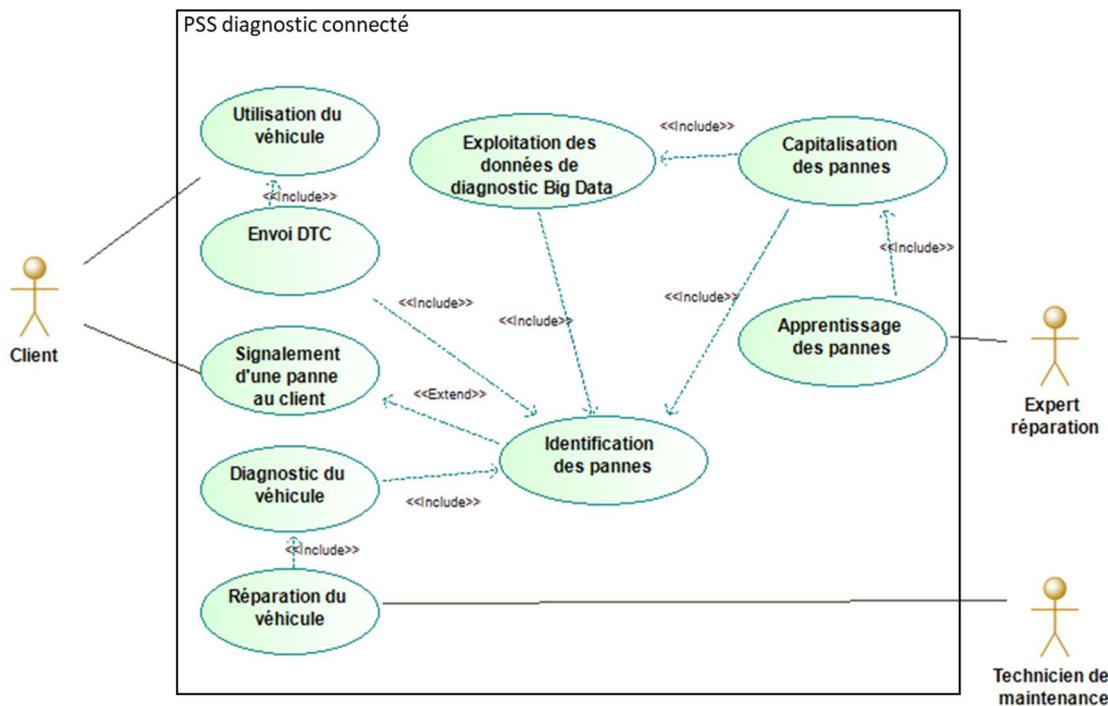


Figure 4-23 Diagramme de cas d'usage du service de diagnostic connecté pour la phase d'utilisation

À ce stade, la diversité du PSS est définie de manière globale. Ainsi, pour des raisons commerciales par exemple, de disponibilité des infrastructures ou de génération technologique de véhicules, il est possible de restreindre l'utilisation de ce PSS. Nous définissons ainsi les attributs d'applicabilité produit et d'applicabilité service du PSS. Une représentation objet est présentée en Figure 4-24. L'applicabilité produit est définie par l'attribut « applicabilitéP » et le critère de diversité produit « DiagCo », qui indique la compatibilité du véhicule avec l'option de diagnostic connecté. L'applicabilité service est définie par l'attribut « applicabilitéS » et le critère de diversité service « PaysCo » qui indique que le PSS ne sera appliqué que dans les pays dont le constructeur gère la connectivité avec le véhicule.

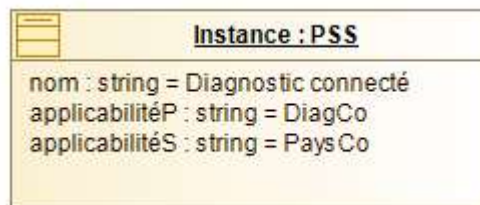


Figure 4-24 Instance de PSS pour le diagnostic connecté

Ces différentes modélisations issues du cadrage ne sont pas nécessairement traduites dans des modèles de données. Cependant, elles comportent des informations utiles pour la conception du PSS et il est intéressant de les partager dans une logique de continuité numérique. Au sein du système d'informations du SLM, ils sont donc associés par des liens à l'instance de PSS qu'ils décrivent, de manière similaire au PLM dans lequel des documents peuvent être attachés aux articles de produit.

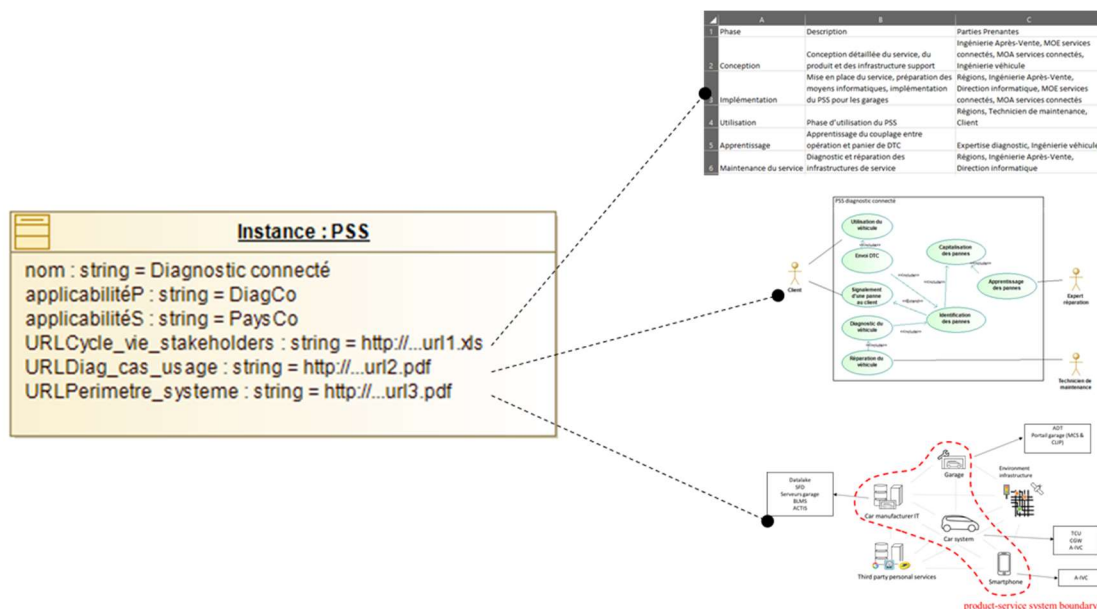


Figure 4-25 Association des éléments via URL du cadrage du PSS à l'instance de PSS « Diagnostic connecté »

Le PSS est défini au haut niveau, la poursuite du processus de développement se traduit par l'architecture fonctionnelle du système.

4.2.3.2. Architecture fonctionnelle du système

Pour le diagnostic connecté, l'architecture fonctionnelle est établie par niveaux. Dans un premier temps, la fonction principale est énoncée. Elle est déclinée en fonctions à un niveau inférieur. Ainsi, la fonction principale du PSS de diagnostic connecté se décompose en 4 fonctions présentées en Figure 4-26.

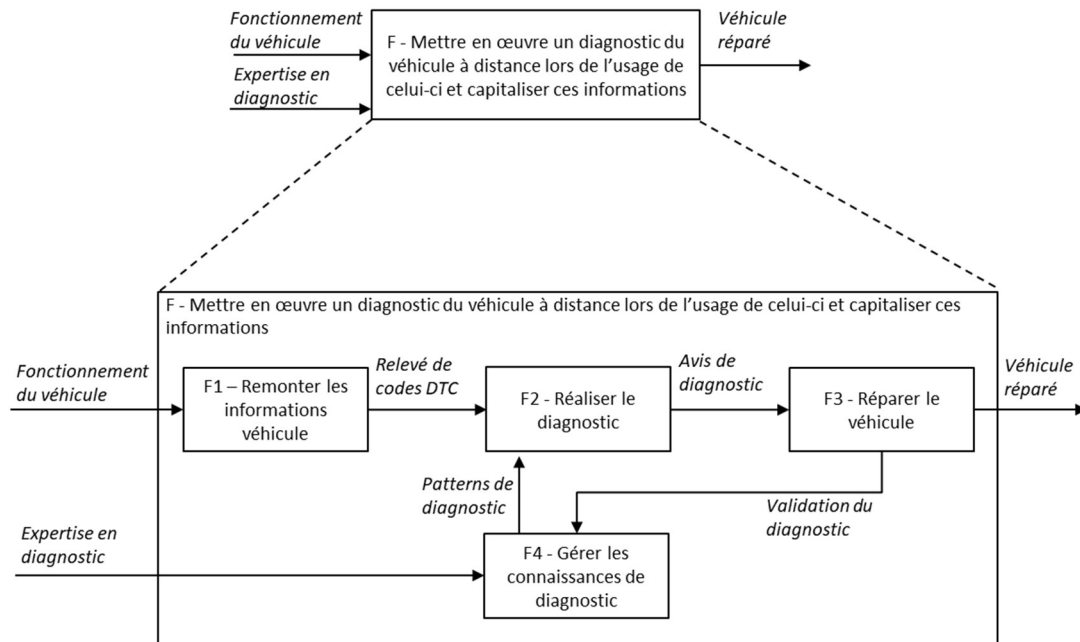


Figure 4-26 Vue comportementale des fonctions au niveau 0 et 1

Dans la proposition, une fonction peut être composée de sous-fonctions. Dans la vue comportementale des fonctions, la composition des fonctions est représentée par une logique récursive. Chaque fonction possède des flux d'entrée et de sortie qui seront répliqués à des niveaux de détail inférieurs. La fonction principale F possède les flux entrants « Fonctionnement du véhicule » et « Expertise en diagnostic » qui s'appliquent respectivement aux sous fonctions F1 et F4, ainsi qu'un flux de sortie « Véhicule réparé » qui s'applique à la fonction F3.

Suivant la même logique, nous présentons les niveaux 2 de l'architecture fonctionnelle, dans leurs vues comportementales en Figure 4-27. La fonction F1 – Remonter les informations véhicule - est détaillée en fonctions F11 – Traduire l'état de fonctionnement en variables - et F12 – Communiquer les variables de fonctionnement. F11 permet de traduire un ensemble de paramètres du véhicule en codes DTC représentant les erreurs rencontrées sur le véhicule. F12 permet de faire parvenir ces informations à la fonction F2 qui traite les codes DTC pour proposer un avis de diagnostic. Pour cela, la fonction F2 utilise des *patterns* de diagnostic, qui sont la formalisation de connaissances de diagnostic, sous la forme de correspondance entre un ensemble de DTC et l'identification de panne probable, proposé en flux de sortie de F2. Cet avis de diagnostic est publié au client et au garage et permet de déclencher une éventuelle opération d'E&R du véhicule, traduit dans la fonction F3. En sortie de la fonction F3, le véhicule est réparé et la panne supposée est validée ou non. La fonction F4 permet de gérer les connaissances associées au diagnostic. Elle utilise les validations de diagnostic et l'expertise en diagnostic pour proposer des patterns de diagnostic. Elle consiste en une sous-fonction F41 qui recueille les diagnostics validés et les traite pour les ajouter à la base de sauvegarde. La sauvegarde de toutes ces

données est définie par la fonction F42, qui est notamment exploitée pour l'apprentissage de nouveaux *patterns* réalisé par la fonction F43.

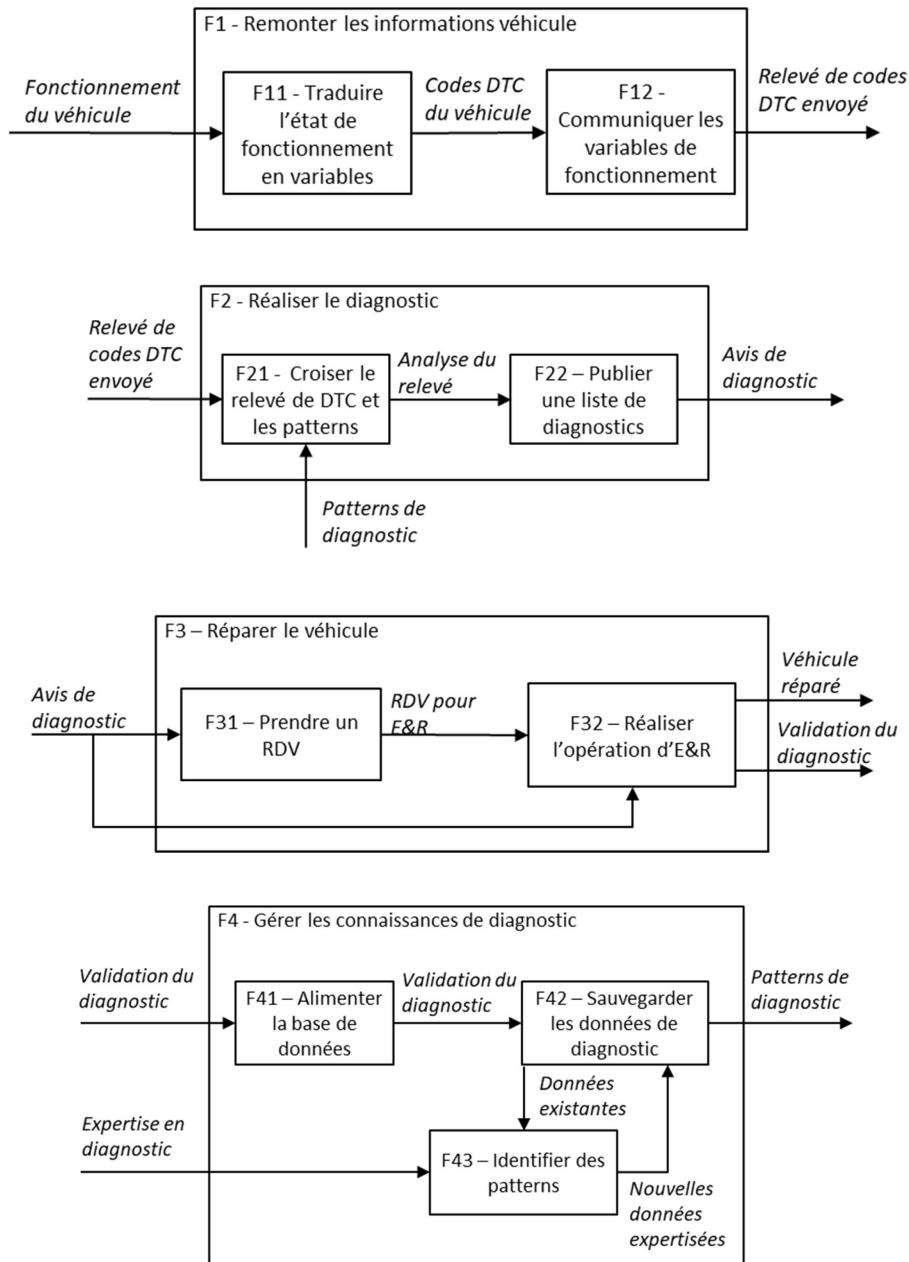


Figure 4-27 Vues comportementales des fonctions au niveau 2

La fonction F3 n'est pas suffisamment définie par le niveau 2, elle est donc détaillée dans un troisième niveau, présenté en Figure 4-28. La fonction F31 permet de notifier l'utilisateur d'une éventuelle panne avérée ou probable et lui permet de formuler une intention de réparation qui se traduit par une prise de RDV. La fonction F32 permet de réaliser l'opération d'E&R le cas échéant, en utilisant notamment l'avis de diagnostic fourni par la fonction de diagnostic à distance F2. En sortie de cette fonction, le véhicule est réparé et l'avis de diagnostic est validé par le technicien de maintenance afin d'enrichir les connaissances de diagnostic, en fonction F4.

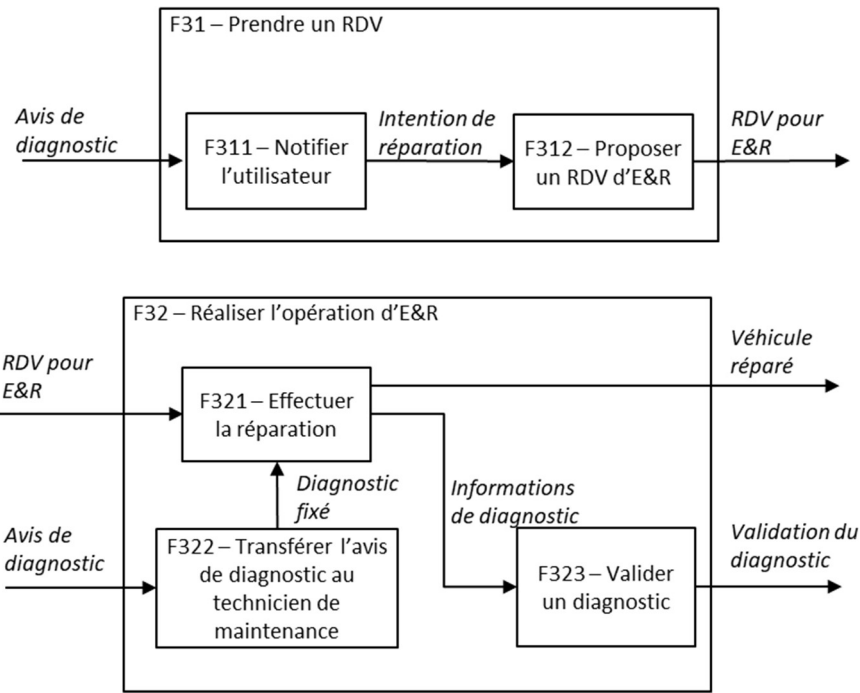


Figure 4-28 Vues comportementales des fonctions F31 et F32 au niveau 3

Cette architecture fonctionnelle permet donc de décrire les fonctions mises en œuvre dans la réalisation du PSS. Elle est également décrite dans une vue de composition présentée en Figure 4-29.

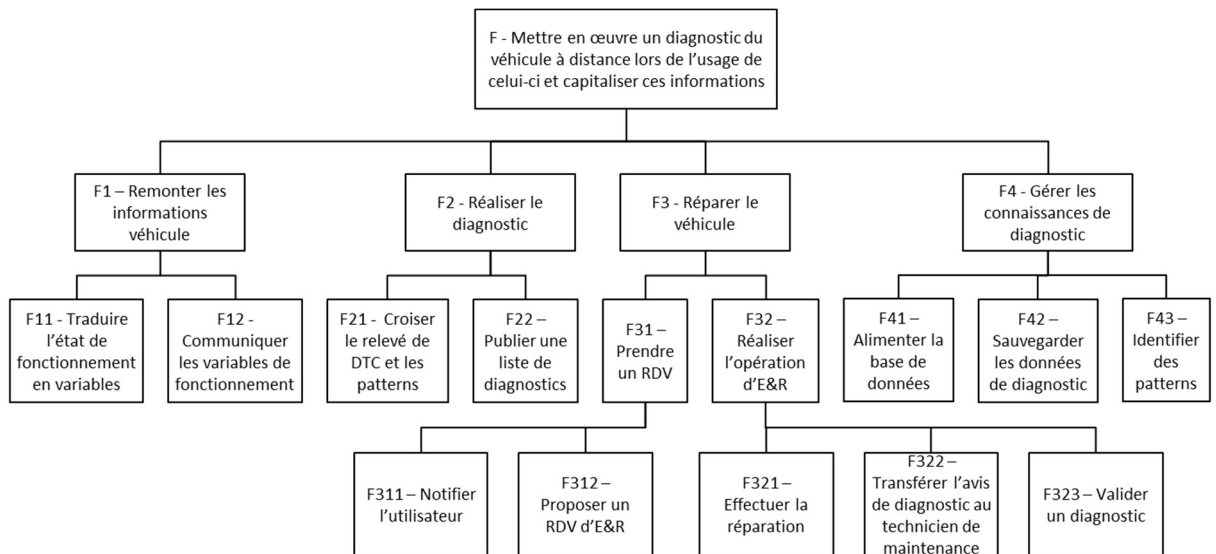


Figure 4-29 Architecture fonctionnelle du diagnostic connecté

4.2.3.3. Gestion de diversité de l'architecture fonctionnelle

Les fonctions décrites dans l'architecture fonctionnelle présentées sont génériques et peuvent être déclinées en variantes. Pour ce système, la fonction de communication F12 est déclinée en deux variantes selon l'objet de diversité produit de connectivité du véhicule. Certains véhicules sont équipés d'une connexion au réseau internet mobile, tandis que d'autres véhicules utilisent une technique de *tethering* qui permet d'utiliser la connexion internet mobile du smartphone de l'utilisateur. De même, la fonction F311 qui permet de fournir un message à l'utilisateur possède deux variantes. La première

variante est la communication des informations de diagnostic via les interfaces web disponibles sur smartphone ou sur ordinateur. La seconde exploite l’IHM du véhicule pour communiquer les informations de diagnostic. Ces deux fonctions et leurs variantes sont présentées en Figure 4-30.

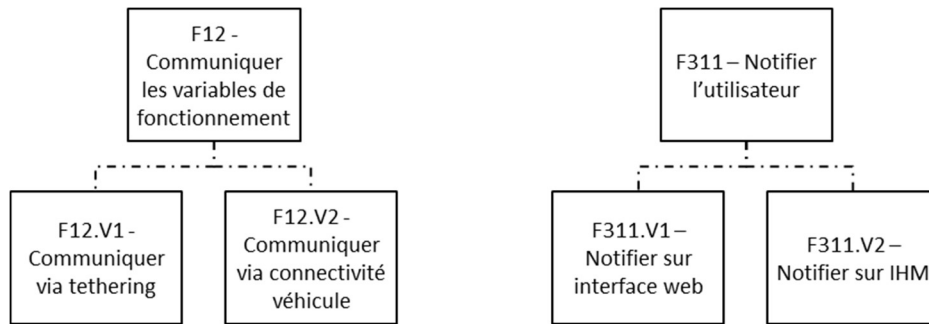


Figure 4-30 Fonctions et variantes de fonctions du diagnostic connecté

Globalement, plusieurs variantes de fonctions possèdent des applicabilités. L’ensemble des variantes des fonctions concernées est représenté en Figure 4-31. Dans cette figure, nous représentons les fonctions soumises à des contraintes de diversité et par conséquent associées à des variantes de fonction. Un ‘X’ représente l’association d’un critère et d’une variante. Les objets et critères de diversité propres de produit sont représentés en gris, tandis que les objets et critères de diversité de service en orange. Dans ce système, la fonction F11 n’est applicable qu’aux véhicules possédant une architecture électronique capable de formuler des DTC. Une variante V1 est donc créée pour y associer l’applicabilité « ArchiEE2 » qui correspond à ces architectures électroniques. De même, la fonction F21 n’est applicable qu’aux services réalisés en Europe. L’applicabilité « Europe » lui est associée.

Sur la Figure 4-31, la ligne inférieure du tableau permet de synthétiser les différentes applicabilités pour chaque variante. Des détails sont donnés juste après la figure.

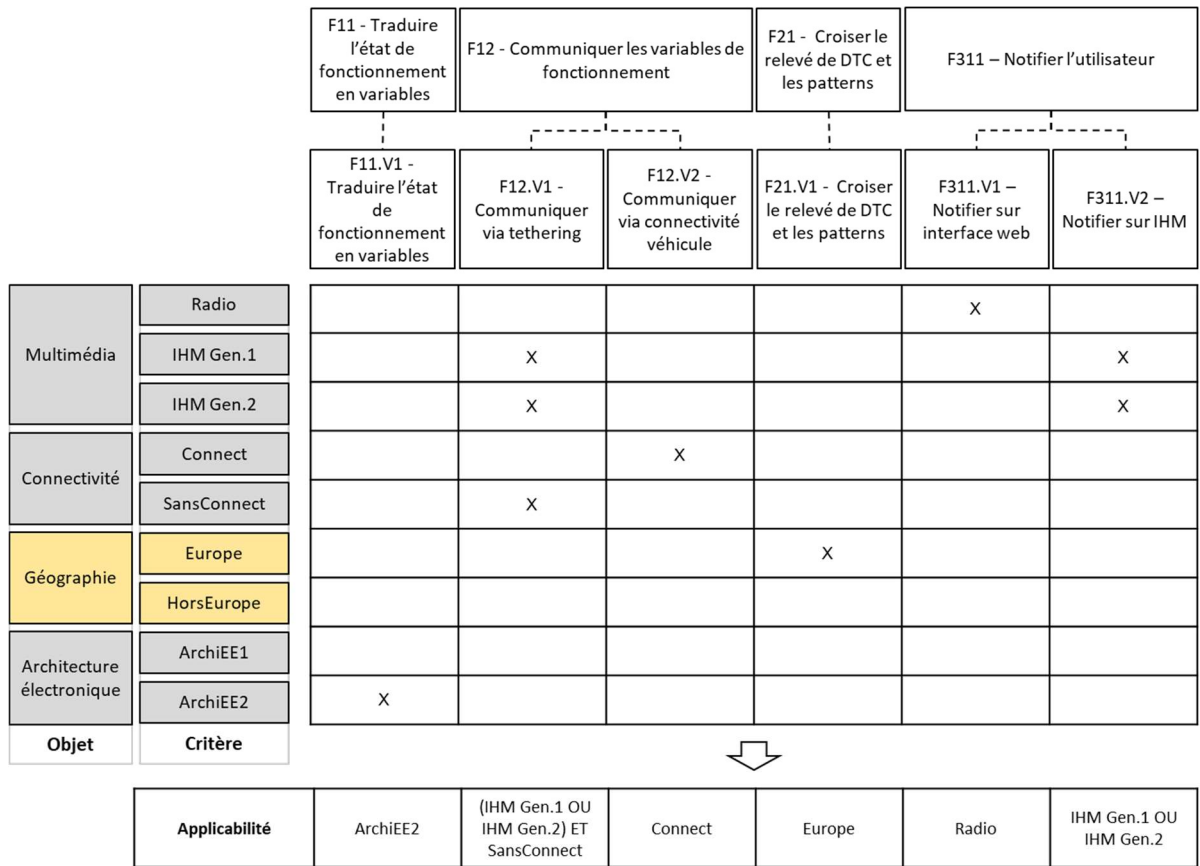


Figure 4-31 Représentation des variantes de fonctions et de leur applicabilité aux critères

Les différentes applicabilités sont présentées sur la ligne inférieure du tableau et représentent les applicabilités de chaque variante. Ainsi, l'applicabilité est exprimée de façon booléenne, ce qui permet d'associer les critères avec des opérateurs « ET » et « OU ». La variante F12.V1 a pour applicabilité le critère « IHM Gen.1 » ou le critère « IHM Gen.2 » de l'objet « Multimédia » qui sont donc liés par l'opérateur « OU ». Elle a aussi pour applicabilité le critère « SansConnect » de l'objet « Connectivité ». La concaténation de l'ensemble donne l'expression suivante :

$$(Multimédia.IHM \text{ Gen.1 } \text{ OU } Multimédia.IHM \text{ Gen.2}) \text{ ET } Connectivité.SansConnect$$

L'ensemble des variantes permet de mettre à jour l'applicabilité du PSS. Ainsi, l'applicabilité de chacune des variantes présentées en Figure 4-31 est combinée dans une expression qui est constituée comme suit :

- Les critères différenciant plusieurs variantes d'une fonction générique sont ajoutés à l'expression via l'opérateur « OU »
- Les critères communs à plusieurs variantes d'une fonction générique sont ajoutés à l'expression via l'opérateur « ET »

Dans le cas de l'exemple de la Figure 4-31, l'expression d'applicabilité du PSS est donc :

$$ArchiEE2 \text{ ET } (((IHM \text{ Gen.1 } \text{ OU } IHM \text{ Gen.2}) \text{ ET } SansConnect) \text{ OU } Connect) \text{ ET } Europe \text{ ET } (Radio \text{ OU } (IHM \text{ Gen.1 } \text{ OU } IHM \text{ Gen.2}))$$

Cette expression peut être simplifiée en :

ArchiEE2 ET (((IHM Gen.1 OU IHM Gen.2) ET SansConnect) OU Connect) ET Europe

Le PSS « diagnostic connecté » possède déjà l'applicabilité DiagCo ET PaysCo, qui est mise à jour pour devenir :

DiagCo ET PaysCo ET ArchiEE2 ET (((IHM Gen.1 OU IHM Gen.2) ET SansConnect) OU Connect) ET Europe

De cette manière, nous avons pu définir l'applicabilité du PSS mais aussi définir les critères qui sont utilisés pour définir différentes configurations de PSS.

4.2.3.4. Allocation fonctionnelle

Suite à la définition de l'architecture fonctionnelle, le besoin est formulé et structuré. La phase d'allocation fonctionnelle permet d'associer des éléments de solution aux éléments de fonction.

Cette phase d'allocation fonctionnelle permet de caractériser les éléments de solution, de nature produit ou service, qui vont résoudre le besoin. La matrice de capacités, présentée en Figure 4-32, est utilisée pour l'allocation fonctionnelle. Elle permet de définir les éléments de solutions qui satisfont les fonctions définies à l'architecture fonctionnelle. Dans cette matrice, chaque ligne est un élément de solution et chaque '1' représente la capacité de l'élément à satisfaire la fonction en colonne. La couleur des éléments de solution est grise pour les éléments de nature produit et orange pour les éléments de nature service.

Élément de solution	F11.V1 - Traduire l'état de fonctionnement en variables	F12.V1 - Communiquer via tethering	F12.V2 - Communiquer via connectivité véhicule	F21.V1 - Croiser le relevé de DTC et les patterns	F22 - Publier une liste de diagnostics	F311.V1 - Notifier sur interface web IHM	F311.V2 - Notifier sur IHM	F312 - Proposer un ROV d'E&R	F321 - Effectuer la réparation	F322 - Transférer l'avis de diagnostic au technicien de maintenance	F323 - Valider un diagnostic
Calculateur moteur	1										
Calculateur suspensions	1										
Calculateur freinage	1										
Calculateur communiquant		1	1				1	1			
Service de tethering		1				SansConnect	SansConnect				
Service de connectivité			1			Connect	Connect				
Service de diagnostic Big Data				1							
Service de stockage des données diagnostic					1						
Système multimédia						1					
Service de gestion des notifications internet						1					
Service de gestion de l'E&R				1			1				1
Service d'E&R								1	1		
Applicabilité fonctionnelle	ArchiEE2	(IHM Gen.1 OU IHM Gen.2) ET SansConnect	Connect	Europe		Radio		IHM Gen.1 OU IHM Gen.2			

Figure 4-32 Matrice des capacités pour l'allocation fonctionnelle

La modélisation de la capacité nous permet d'associer les fonctions du PSS aux éléments de solution et permet de réutiliser des éléments de solution existants. En effet, de nombreux couples fonction-solutions sont communs à plusieurs PSS, tels que les services de communication entre le véhicule et les infrastructures IT ou encore les systèmes multimédias du véhicule. La fonction F311 qui permet de notifier l'utilisateur du véhicule de la détection ou de la prévision d'une panne possède deux variantes, en fonction de la connectivité du véhicule. Deux éléments de solution différents sont proposés, pour la variante V1 c'est un service de gestion de notifications internet et pour la variante V2, c'est le système multimédia du véhicule qui réalise la fonction.

4.2.3.5. Architecture structurelle

L'allocation fonctionnelle permet de déterminer les éléments de solution associés aux éléments de fonction. Dans la suite, nous détaillons les éléments de solution à travers l'architecture structurelle.

L'architecture structurelle dépend de l'allocation fonctionnelle déterminée précédemment. Elle représente les éléments de solutions utilisés dans le PSS. L'architecture structurelle du produit en vue de composition est présentée en Figure 4-33. De même, l'architecture structurelle du service en vue de composition est présentée en Figure 4-34. Les éléments de solution utilisés dans le PSS et mentionnés dans l'allocation fonctionnelle se trouvent au dernier niveau de ces architectures. Ainsi, les calculateurs utilisés dans le PSS font partie des sous-systèmes d'Architecture Électrique et Électronique spécifiques (AEE), qui sont associées dans le système AEE global. Le système multimédia, qui comporte les IHM du véhicule, est associé au système d'habitacle et au sous-système de planche de bord.

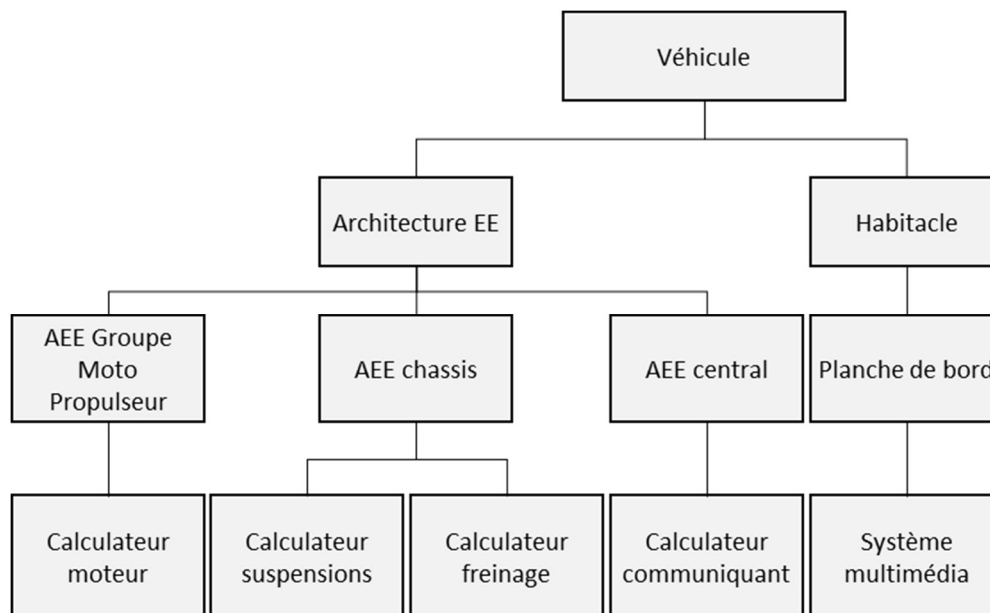


Figure 4-33 Architecture structurelle du produit

Les solutions de service sont associées par type de service. De la même manière que pour le produit, la décomposition et typologie des services est issue de plusieurs critères, dont une certaine homogénéité des disciplines au sein d'un même service (par exemple pour les services de connectivité qui impliquent les disciplines de développement informatique), une similarité des infrastructures de service (par exemple, les services d'E&R et de gestion des RDV d'E&R sont regroupés parce qu'ils

impliquent des infrastructure de garage) ou des similarités dans le fonctionnement des services. Dans ces travaux, nous n'approfondissons pas particulièrement ces critères de décomposition.

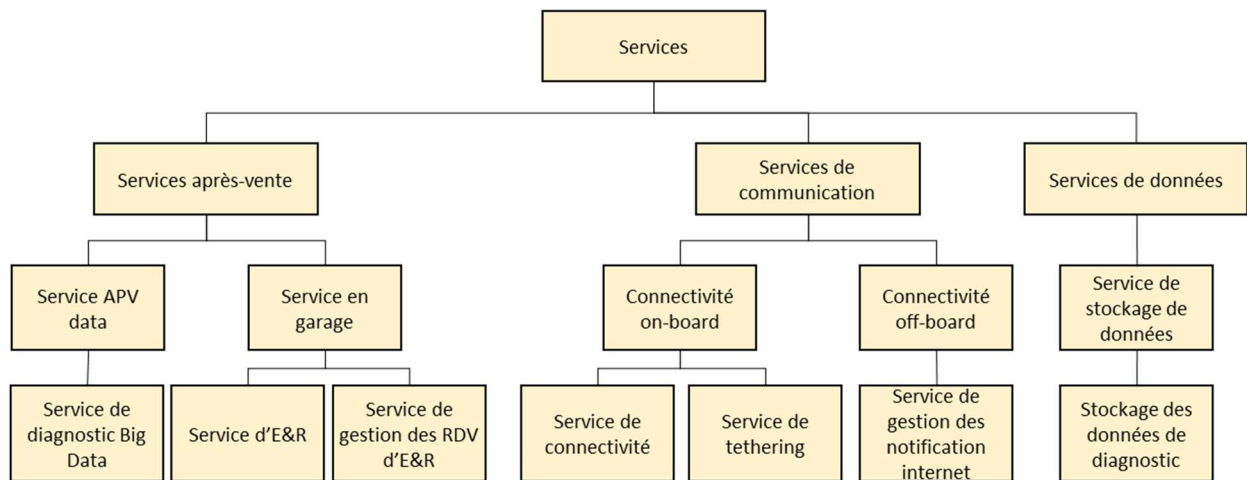


Figure 4-34 Architecture structurelle du service

Selon la considération abordée, il se peut que certains éléments de solution soient décomposés plus encore. Par exemple, le service d'E&R est en fait l'assemblage de plusieurs services différents (réception du véhicule, commande de PR, consultation des méthodes de réparation, etc.). Cependant, lors de la conception du PSS, le niveau de détail suffisant de la solution est celui qui permet de satisfaire la fonction associée.

4.2.3.6. Gestion de diversité de l'architecture structurelle

Dans la suite, nous présentons comment la diversité s'applique à l'architecture structurelle. Les éléments de solution peuvent être déclinés en variantes, présentées en Figure 4-35 et associées à leurs applicabilités. Le système multimédia est décliné en trois variantes selon la génération du système embarqué. Le service de diagnostic *Big Data* est décliné en deux variantes, selon l'objet de diversité « abonnement » et deux critères « AboPremium » et « AboStandard » attachés à cet objet. Ces critères permettent de différencier deux niveaux de services différents en fonction d'options commerciales choisies par le client. Enfin, le service de *tethering* est différent selon qu'il utilise des smartphone android ou iOS et possède ainsi deux variantes.

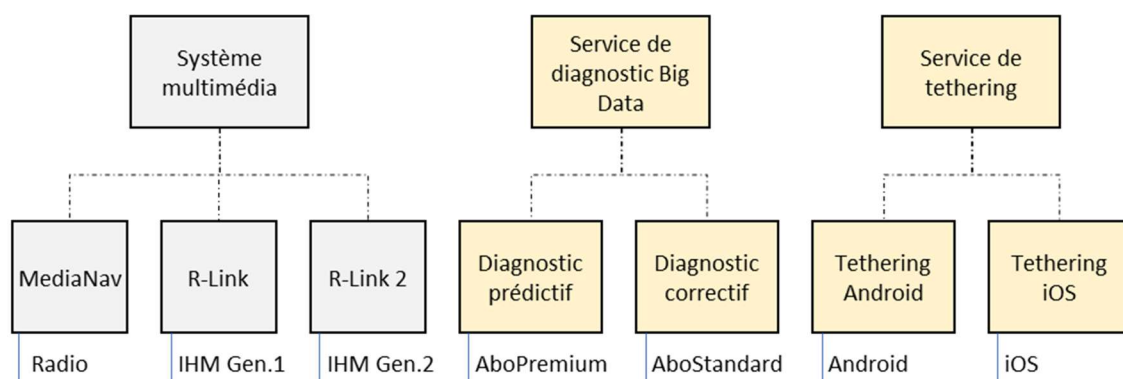


Figure 4-35 Éléments de solution génériques et leurs variantes

Avec les modélisations de diversité, de l'architecture fonctionnelle, des capacités dans l'allocation fonctionnelle et de l'architecture structurelle, il est possible de définir plusieurs configurations du PSS.

4.2.3.7. Description des infrastructures de service

Dans cette partie, nous décrivons comment les infrastructures sont associées aux services. Comme défini dans la proposition, un service utilise des ressources pour sa réalisation. Chaque élément de solution de service dépend d'une infrastructure nécessaire à sa réalisation. Dans la Figure 4-36, nous présentons les associations entre les différents éléments de solutions et les infrastructures de service.

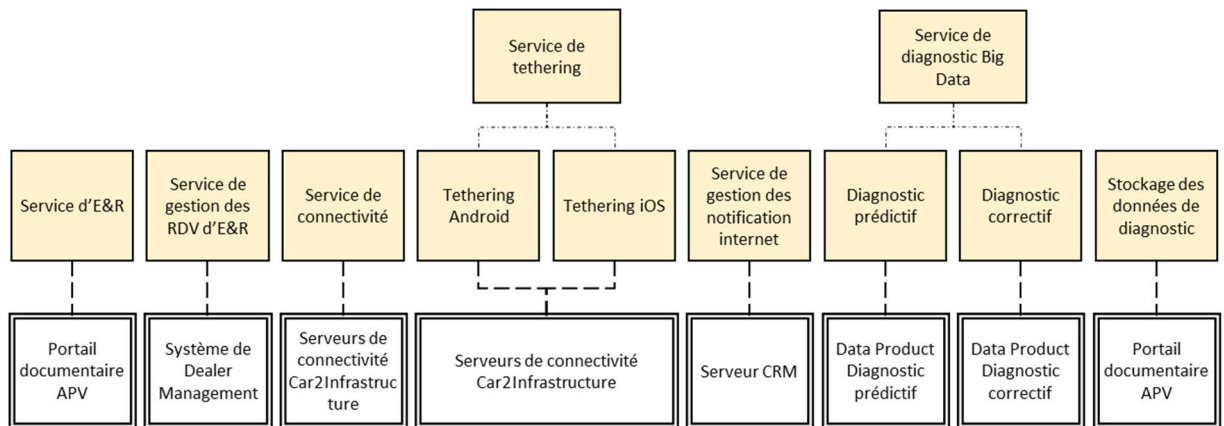


Figure 4-36 Association des infrastructures aux solutions de services

Les exigences de ressource du service permettent de spécifier quelles infrastructures peuvent être mises en place pour les satisfaire. La relation entre les solutions de service et les infrastructures est aussi spécifiée par les exigences d'interfaces qui spécifient les interfaces que les infrastructures présentent.

Enfin, l'architecture structurelle est définie, dans une vue comportementale, avec les interfaces utilisées. Les flux déterminés dans l'architecture fonctionnelle sont ainsi traduits dans l'architecture structurelle. Cela permet de préciser les interfaces et les flux entre les solutions de produit et les infrastructures de service.

Dans cette partie, nous avons présenté comment la proposition s'applique au cas d'étude du diagnostic connecté. Dans la suite, nous présentons comment ce cas d'étude a pu être valorisé au sein de l'entreprise.

4.2.1. Validation des éléments de la proposition

Ce cas de diagnostic à distance concerne l'ensemble des enjeux visés par la proposition. Au niveau des approches, il met en œuvre une logique basée sur la définition détaillée du SLM. Il applique le schéma d'interaction parallèle du PLM et du SLM, en particulier pour les dimensions processus et structure selon le modèle de (Silventoinen et al., 2011). L'ensemble des descriptions du PSS, des produits et des services sont structurées dans une logique issue du PDM, en conservant la dualité du produit et du service. La continuité numérique à travers le cycle de vie du PSS est adressée par la prise en compte des phases de vie du PSS lors de la conception et à travers l'utilisation de modèles de référence.

Le cas d'étude applique également la proposition au niveau du processus, des méthodes et des outils de développement basés sur le cycle de vie du PSS. Il applique une distinction forte entre produits et services, qui décline différents cycles de vie produit et service. Il met en œuvre la décomposition du PSS en sous-systèmes et composants de type produit ou service à travers ses architectures fonctionnelles et structurelles. Il met en œuvre la gestion de la diversité au niveau de ces architectures, pour décrire les applicabilités des systèmes mais aussi pour discriminer les fonctions et les solutions de différents scénarios. Il présente la démarche d'association entre les solutions de service et les infrastructures. L'ensemble de ces liens permet de propager les exigences, depuis les premières phases de recueil du besoin à la spécification des composants de produits, des services et des infrastructures. Les éléments de la proposition appliqués au niveau de la modélisation des PSS sont également appliqués dans ce cas d'étude et matérialisent les données manipulées pour la conception du diagnostic connecté.

Toutefois, dans ce cas d'étude nous ne présentons pas les différentes modélisations comportementales du PSS. De même, les exigences ne sont pas formellement exposées. Enfin, nous n'appliquons pas la proposition à travers des outils informatiques de gestion des données. Nous identifions ici une limite à l'application de la proposition dans ces travaux. La complexité de l'ensemble de ces informations de conceptions rend la gestion simultanée difficile et il serait nécessaire d'étudier la pertinence d'appliquer des méthodes d'Ingénierie Système des basée sur les modèles (*Model-Based Systems Engineering* et *Model Based Design*) à travers les approches PLM et SLM, notamment pour mieux gérer cette complexité et faciliter l'intégration système tout au long du cycle de vie du produit.

4.2.2. Valorisation du cas d'étude pour l'entreprise

Ce cas d'étude s'intéresse à un sujet représentatif des nouveaux services que le constructeur propose. La direction de l'Ingénierie Après-Vente (iDAV), qui a recueilli ces travaux de recherche, se positionne fortement sur les services connectés, d'autant plus s'ils concernent les opérations relatives à l'E&R des véhicules. Elle est un des acteurs incontournables de la *servicization* de l'entreprise, qui concerne souvent la vie Après-Vente du véhicule pour plusieurs raisons. Premièrement, les premiers leviers d'offres de services automobiles sont construits sur la relation déjà existante avec le client, qui passe en partie par le service Après-Vente. Deuxièmement, l'iDAV possède une expertise de la réparation des véhicules et concentre des connaissances nécessaires au traitement des données issues de l'usage du véhicule. Troisièmement, elle développe continuellement l'ensemble des outils et des documentations nécessaires à la réparation des véhicules et pilote les infrastructures d'E&R, telles que les garages et leurs équipements et leur évolution qui intervient dans de nombreux nouveaux PSS automobiles. Enfin, elle est l'interlocuteur avec le client pour la maintenance en fonctionnement des véhicules, mais aussi de nombreux services, existants tels que l'E&R historique ou à venir.

Les quatre raisons évoquées ici impliquent que l'iDAV doit être munie d'un cadre méthodologique lui permettant de définir et maîtriser les PSS en tant qu'un objet de R&D. L'iDAV dispose de systèmes d'information issus du PLM et spécifiques à l'Après-Vente pour structurer les données concernant le service Après-Vente. L'application de la proposition d'intégration PLM-SLM s'inscrit donc dans la perspective d'évolution de ces systèmes d'information support. La valorisation de ce cas a été réalisée à travers des échanges avec différents chefs de projets et ingénieurs concernés par le développement des PSS, il a permis de présenter la proposition de ces travaux et de supporter des échanges lors d'interviews. A l'issue de ces travaux, des propositions d'orientations du cadre méthodologique sont transmises sur la base de l'analyse et de la proposition présentés dans ces travaux.

Chapitre 5 Conclusion

5.1. Conclusion des travaux

Ces travaux de recherche s'inscrivent dans un contexte de forte évolution des entreprises manufacturières, en particulier au sein de l'industrie automobile et de la mobilité. Les industries manufacturières sur les marchés développés font face à une forte concurrence et sont à la recherche de nouveaux leviers de croissance. Une continuité d'évolutions technologiques permet aujourd'hui à l'automobile de se transformer, en tant qu'objet mais aussi en tant qu'offre. En effet, l'objet véhicule devient communicant, autonome et intelligent. Il s'inscrit dans un environnement connecté, avec les constructeurs automobiles, les utilisateurs, voire des acteurs tiers, tels que les infrastructures publiques ou des entreprises diverses. Les offres automobiles, quant à elles, s'orientent vers des nouvelles formes de relations avec le client, au-delà de l'achat et de la simple maintenance du véhicule. À l'extrême, les constructeurs intègrent de plus en plus d'offres de mobilité, qui positionnent l'objet véhicule comme une partie fonctionnelle de l'offre. L'évolution des technologies et de la connectivité s'inscrit dans une transition numérique et permet d'apporter de nouvelles fonctionnalités au client et d'étendre son expérience plus loin que la conduite du véhicule. Toute cette transition est reprise dans ces travaux sous le terme de *servicization* et se traduit par la transition d'un paradigme orienté produit, vers un paradigme de systèmes produits-services, les PSS. De nombreux enjeux scientifiques et techniques sont induits par cette *servicization*. Ces travaux adressent le développement et la gestion de ces PSS nés de cette transition.

Les PSS sont des objets techniques nouveaux, plus riches et complexes que les produits développés jusque-là. Ils intègrent des services qui sont fondamentalement différents des systèmes produits traditionnellement par les entreprises manufacturières. Ils exigent une considération importante liée à leur usage, avec en particulier la nécessité de prévoir des infrastructures permettant la réalisation des services. Par ailleurs, le développement et la gestion de PSS sont assurés par les approches d'ingénierie, qui mettent en œuvre des processus pilotant les activités de développement et de gestion nécessaires à leur élaboration et mise en œuvre. Ces processus sont déclinés en méthodes d'ingénierie, qui décrivent les techniques employées pour le développement de systèmes. Des outils sont exploités par l'entreprise pour faciliter la réalisation des processus et des méthodes et sont implémentés dans des systèmes d'information. Enfin, le développement de systèmes repose sur leur modélisation, qui structure dans un ensemble cohérent toutes les informations mises en œuvre lors des activités de développement et de gestion des PSS. Les éléments décrits précédemment sont appelés cadre méthodologique dans ces travaux et disposés en trois niveaux : (1) les approches d'ingénierie, (2) les processus, méthodes et outils d'ingénierie et (3) les modélisations de PSS.

Le développement des PSS automobiles fait face à un enjeu majeur, la gestion de la diversité des produits et des services. En effet, dans le souci de personnaliser les véhicules qu'ils proposent à leurs clients, les constructeurs automobiles ont intégré de nombreuses variantes de produits qui peuvent être combinées ensemble. En parallèle, les services sont également des offres hautement personnalisées et ils se déclinent en plusieurs variantes. Les services intègrent même un niveau de complexité supérieur dans la mesure où ils peuvent être personnalisés et configurés lors de leur usage, en fonction de leur fonctionnement. Le développement des PSS implique de maîtriser cette diversité, ce qui se traduit dans le cadre méthodologique des travaux.

Pour pouvoir développer des PSS, dans le cadre d'une *servicization* automobile, ces travaux formulent ainsi la problématique suivante :

Dans le cadre des transformations actuelles du secteur automobile, quelles approches et représentations permettent de supporter l'ingénierie des PSS automobiles en prenant en considération la gestion de leur diversité ?

Les travaux de la littérature scientifique ne permettent pas de répondre entièrement à la problématique sur les différents niveaux du cadre méthodologique. Un enjeu de ces travaux est de s'adresser à la problématique de manière cohérente à travers les niveaux. En effet, nous faisons l'hypothèse que c'est une démarche appropriée pour fournir des premiers éléments de proposition qui serviront de base à l'enrichissement du cadre méthodologique à différents niveaux.

Afin de prendre en compte les spécificités des PSS automobiles dans l'étude et la proposition, nous avons défini 7 critères d'analyse qui détaillent la problématique et sont utilisés tout au long des travaux. À travers ces critères, nous entendons intégrer les conditions de réussite principales de la mise en place d'un cadre méthodologique pour le développement des PSS. Ces critères ont été élaborés sur la base de verrous scientifiques identifiés et du contexte industriel. Ils se focalisent sur la capacité (1) à gérer des cycles de vie de produit et de service, (2) de définir les PSS à plusieurs niveaux de décomposition, (3) d'intégrer les infrastructures de service dans le cadre méthodologique, (4) de gérer la diversité des produits, des services et leurs associations, (5) de prendre en compte les aspects comportementaux du service, (6) d'intégrer de nouvelles parties prenantes dans le développement et la gestion des PSS ainsi que (7) de gérer le recours à des données liées à l'usage des PSS.

Après avoir étudié le contexte industriel et formulé une problématique de recherche, ces travaux déterminent les contributions de la littérature scientifique participant à la résolution de la problématique. L'état de l'art porte ainsi sur l'ensemble du cadre méthodologique présenté ci-dessus. Dans ces travaux, nous avons choisis de découper cet état de l'art d'après les trois niveaux du cadre.

Le premier niveau s'intéresse aux approches d'ingénierie dans leur globalité. De nombreuses approches supportent le développement et la gestion des systèmes. Le PLM est une approche heuristique des activités d'ingénierie des entreprises, se basant sur plusieurs principes dont la propagation des informations de conception aux différents acteurs de l'entreprise concernées, dans une approche orientée sur le cycle de vie des produits permettant de prendre en compte toutes ses phases, depuis l'énoncé des besoins jusqu'à sa fin de vie. Le SLM est le pendant du PLM pour l'ingénierie des services. Il en reprend ses principes et est utilisé pour développer des systèmes spécifiquement de nature servicielle. Cependant, il reste peu développé dans la littérature scientifique. En parallèle du PLM et du SLM, l'Ingénierie Système est une approche complète centrée sur le développement des systèmes avec leur cycle de vie en perspective. Elle comporte de nombreux processus et méthodes permettant de supporter la complexité induite des systèmes tels que les PSS. D'autres approches, telles que l'ERP, le QMS, les méthodes agiles, l'ALM sont considérées mais ne s'inscrivent pas dans la réponse à la problématique et aux critères d'analyse. Nous centrons donc notre analyse de l'état de l'art sur ces trois approches : le PLM, le SLM et l'IS. Les deux premières supportent le développement des PSS, tout en mettant en œuvre des pratiques de la troisième. Au niveau des approches d'ingénierie, nous identifions que le PLM, qui supporte l'ingénierie des produits dans l'automobile, ne permet pas de gérer les spécificités du service. Le SLM répond à cette problématique et dans une logique de conservation de

l'approche PLM existante, doit se positionner en interaction du PLM pour supporter le développement des PSS. Cette dualité PLM-SLM implique des interactions entre les processus, méthodes et outils d'ingénierie de ces deux approches, mais aussi au niveau des modélisations de PSS.

Le deuxième niveau s'intéresse aux processus, méthodes et outils utilisés pour l'ingénierie des PSS. Les processus de l'état de l'art contribuent à répondre à la problématique en abordant le développement des PSS par son architecture fonctionnelle, puis structurelle suite à laquelle les solutions de nature produit ou service sont déterminées. Les processus structurent aussi l'intégration des parties prenantes dans le développement des PSS. Cependant, ils reposent sur une distinction entre produits et services qui doit être approfondie et mise en cohérence avec la disposition des approches d'ingénierie. Les méthodes et outils d'ingénierie opérationnalisent les processus d'ingénierie. À travers l'état de l'art, nous avons ciblé les méthodes de conception issues de l'Ingénierie Système et des méthodes de gestion de diversité qui doivent être adaptées à l'ingénierie des PSS. En particulier, différentes contributions déterminent l'importance de considérer les PSS à travers les aspects *result-process-resource* mais ils ne sont pas intégrés aux méthodes de conception des PSS pertinents ni à la gestion de la diversité.

Le troisième niveau de l'état de l'art s'intéresse aux différentes modélisations du PSS en regard des niveaux précédents. En effet, toutes les informations produites et étudiées lors des phases de développement sont structurées sous des ensembles de modélisations des PSS. De nombreux modèles existent dans la littérature, s'inscrivant dans les trois architectures et le triplet d'attributs observés au deuxième niveau. En synthèse de cette partie de l'état de l'art, nous déterminons donc des descripteurs nécessaires à la modélisation du PSS et les vues d'architecture qui les supportent. Enfin, les contributions sont analysées pour déterminer dans quelle mesure elles satisfont chacun des critères d'analyses. Il reste cependant à approfondir la relation entre les différents modèles issus de la littérature, répondant aux critères par parties, mais ne comportant pas une cohérence globale. De plus, il est nécessaire de proposer des modèles corrélés aux processus, méthodes et outils mis en œuvre. En particulier, la gestion de la diversité doit être associée aux architectures fonctionnelles et structurelles.

À l'issue de cet état de l'art, nous formulons une proposition de réponse à la problématique. Elle comprend l'ensemble des contributions de l'état de l'art que nous avons qualifié pertinentes, propose aussi de nouveaux éléments pour répondre aux manques ciblés dans l'état de l'art. L'ensemble de la proposition est définie de manière cohérente à travers les trois niveaux du cadre méthodologique. Au niveau des approches d'ingénierie, nous proposons de disposer le PLM et le SLM en parallèle pour supporter l'ingénierie des produits et des services. Cela nous permet de proposer une définition plus complète du SLM, ainsi qu'un schéma d'interaction entre le PLM et le SLM. Nous apportons aussi des critères de distinction entre produits et services, afin de clarifier ce manque de la littérature et de déterminer quels éléments de la conception des PSS sont supportés par le PLM ou par le SLM. Au niveau des processus, méthodes et outils, nous proposons un ensemble cohérent structuré sur un processus de développement du PSS. Dans ce processus, les pratiques de l'IS sont utilisées pour considérer le PSS dans une vue système et déterminer les interactions entre les éléments de produit et de service. Cela se traduit par une conception d'abord de l'architecture fonctionnelle du PSS, qui débouche sur la conception de l'architecture structurelle du PSS. Suite à ces phases de conception, une allocation fonctionnelle détermine quels éléments de solution sont du type produit ou service. En parallèle de cette conception du PSS, l'ingénierie des exigences est mise en œuvre pour structurer les exigences du système à tous ses niveaux de décomposition et permet d'intégrer les différentes parties prenantes du développement. De plus, elle suit une taxonomie adaptée au PSS via les attributs *result-process-resource*. Dans la proposition, la diversité est également gérée transversalement par la

description des variantes de système par des critères de diversité et la mise en œuvre de matrices de configurations pour tracer les associations entre variantes. De plus, nous proposons d'employer un référentiel commun de diversité à travers le concept de lexique de diversité. Enfin, au niveau des modélisations de PSS, nous proposons des modèles de PSS intégrant l'ensemble des descripteurs définis dans l'état de l'art et la structuration des modèles autour de l'architecture structurelle en tant que vue de référence, se référant à des vues d'architectures comportementales et fonctionnelles. Les modèles d'exigences et de diversité sont proposés.

Deux cas d'étude nous permettent d'expérimenter cette proposition. Bien qu'il ne soit pas possible de mettre en place complètement une proposition de cadre méthodologique telle que celle que nous avons établi, dans un contexte industriel à travers une thèse CIFRE, les deux cas d'étude permettent à la fois d'illustrer comment la proposition s'applique au contexte industriel, mais aussi de la qualifier à travers l'expérience des acteurs du développement de PSS. Ces deux cas d'étude prennent part dans le périmètre de la direction Après-Vente de Renault qui accueille ces travaux de recherche. Cette direction est un acteur majeur des services automobiles pour le constructeur et est pertinente pour accueillir ces travaux.

Le premier cas d'étude se consacre à un service existant et permet d'expérimenter des éléments centraux de la proposition, bien qu'il n'en couvre pas la totalité. Le service en question est l'approvisionnement des pièces de rechange en garage pour des opérations d'entretien et de réparation. Avec le cadre méthodologique proposé, nous avons pu appliquer la démarche de description du PSS et mettre en œuvre les modèles de PSS développés. Cette description, modèle de référence du service, a permis de formaliser des éléments de gestion de ce service. Grâce à cette modélisation du PSS, nous avons spécifié un outil d'amélioration de la qualité croisant des informations du produit issues du PLM et des informations du service telles que nous les proposons dans le SLM. Cet outil a été prototypé et s'est montré utile pour traiter la quantité et la complexité des données de qualité du service d'approvisionnement. Il est à disposition de l'entreprise qui pourra le développer et le pérenniser.

Le deuxième cas d'étude porte sur un service de diagnostic connecté. Il concentre l'ensemble des problématiques présentées par les critères d'analyse et recouvre l'ensemble des spécificités des nouveaux services automobiles décrits dans le contexte. La démarche de développement proposée a permis de détailler ce PSS et de le modéliser. Nous avons mis en œuvre les différentes méthodes proposées dont particulièrement les méthodes de gestion de diversité. Son application permet de tester et d'illustrer comment la proposition se traduit avec un cas de PSS réel. Ce cas d'étude a aussi été un support aux discussions avec les acteurs de l'entreprise qui a permis de présenter les travaux de recherche mais aussi de s'assurer de leur pertinence avec le contexte industriel.

5.2. Limites et perspectives

5.2.1.1. Comment ces travaux s'intègrent à une réalisation industrielle

Par sa nature, le cadre méthodologique étudié dans ces travaux s'applique à une large partie de l'entreprise. Plus particulièrement, les approches PLM et SLM sont des projets coûteux, vastes et concernant la majorité des métiers impliqués dans la conception des produits et des services. Il semble alors illusoire d'appliquer complètement les éléments de la proposition au cours d'un projet de thèse en contrat CIFRE. Tenant ce fait pour acquis, nous avons choisi d'orienter ces travaux vers une exploration des questions liées au développement et à la gestion des PSS dans le but de conduire un ensemble de

recommandations aux acteurs du monde industriel. Au cours de ces travaux et à l'occasion de nombreux échanges avec les collaborateurs de l'entreprise Renault et à des acteurs du développement de services connectés, nous avons pu présenter les observations et propositions. Ces travaux ont été établis dans une perspective d'intégration à long terme dans les orientations de l'entreprise quant au développement de PSS.

5.2.1.2. Limites des travaux et poursuite scientifique du sujet

Le cadre méthodologique présenté dans les travaux est constitué autour de certains éléments que nous avons déterminés comme fondateurs pour le développement des PSS. À partir de ces bases, de nouvelles problématiques et de nouvelles ouvertures se dessinent et nous observons que la proposition peut être encore détaillée.

Dans un premier temps, l'enjeu des approches PLM et SLM n'est pas uniquement de définir conceptuellement la démarche de développement des PSS, mais aussi de la transposer dans des outils informatiques et à travers des activités de développement à échelle réelle. En particulier, les démarches de gestion de la diversité impliquent une complexité des données exponentielle avec le nombre de composants d'un système. À travers les cas d'étude, nous avons pu appliquer une partie de cette gestion de la diversité, mais elle mérite des approfondissements, notamment sur la capacité de rendre ces informations appréhendables par une personne à travers des outils informatiques adressant cette complexité.

En addition, dans la proposition, nous n'aborderons pas en détail la conception technique des composants de PSS. Or, un PSS est un système mêlant mécanique, électronique et informatique. Des pratiques particulières permettent de mettre l'accent sur l'intégration de ces aspects, c'est la conception mécatronique. Dans la poursuite de ces travaux, il est pertinent de déterminer comment mettre en œuvre la conception détaillée de ces systèmes mécatronique supportée par des approches d'ingénierie numérique telles que le PLM et le SLM. De plus, dans la proposition, nous considérons que le développement de services unitaires est réalisé à partir d'un ensemble de spécifications rigoureux et exhaustif du service attendu. Or, le développement de services est une activité à forte orientation informatique, mettant en œuvre de nombreuses fonctions logicielles. Ces développements sont majoritairement réalisés à partir de pratiques issues de l'approche Agile, ce qui sous-entend des itérations continues entre le besoin spécifié et la solution fournie. Deux démarches sont donc en contradiction lorsque l'on passe de la conception des PSS qui suit une démarche robuste et relativement figée à la conception des composants de services qui suit une démarche agile. Nous voyons ici un verrou potentiel pour compléter les travaux présentés ici, il s'agit de faire coïncider ces deux démarches.

Enfin, les PSS automobiles mettent en œuvre un grand nombre de données. Pour un constructeur automobile, ces données représentent un espace potentiel de valeur. Pour cela, il met en œuvre des pratiques issues de la science des données, qui permettent de traiter des données complexes, volumineuses et variables et qui traduisent notamment les phases d'usage des PSS. Cet aspect, que nous avons intégré en le simplifiant, semble intéressant à intégrer plus fortement dans le SLM, dans la mesure où il comporte des caractéristiques particulières. Parmi ces caractéristiques, on peut notamment citer l'intégration des données hétérogènes, la mise en place d'architecture des données et d'ontologies, les modes de gouvernance des processus de traitement des données et d'autres encore qui sont à la frontière du PLM-SLM et de nouveaux champs d'étude.

Dans ces s nous semblent impliquer des possibles bouleversements dans la manière dont l'entreprise organise ses activités au-delà de la conception des PSS, concernant par exemple les directions financières, commerciales, de la production et de la communication. C'est effectivement un changement de paradigme pour un constructeur automobile. Nous pensons que les approches d'ingénierie s'inscrivent fortement dans la stratégie de l'entreprise et il semble pertinent de prendre en compte ces aspects dans le développement du PLM et du SLM, voire des autres approches avec lesquelles ils interagissent.

Références bibliographiques

- Alonso-Rasgado, T., Thompson, G., & Elfström, B.-O. (2004). The design of functional (total care) products. *Journal of Engineering Design*, 15(6), 515–540. <https://doi.org/10.1080/09544820412331271176>
- Andriankaja, H., Boucher, X., Medini, K., & Vaillant, H. (2016). A Framework to Design Integrated Product-Service Systems Based on the Extended Functional Analysis Approach. *Procedia CIRP*, 47, 323–328. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.080>
- Association Française d'Ingénierie Système. (2009). Découvrir et comprendre l'Ingénierie Système.
- Aurich, J., Fuchs, C., & Wagenknecht, C. (2006). Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1480–1494. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.019>
- Aurich, J., Wolf, N., Siener, M., & Schweitzer, E. (2009). Configuration of product-service systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(5), 591–605. <https://doi.org/10.1108/17410380910961000>
- Baines, T. S., Lightfoot, H. W., Evans, S., Neely, A., Greenough, R., Peppard, J., ... Wilson, H. (2007). State-of-the-art in product-service systems. In *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture* (Vol. 221, pp. 1543–1552). <https://doi.org/10.1243/09544054JEM858>
- Ben Hamida, S., Jankovic, M., Monceaux, A., & Eckert, C. (2015). Towards a decision support framework for system architecture design. In *International Conference on Engineering Design 2015*.
- Berkovich, M., Leimeister, J. M., Hoffmann, A., & Krcmar, H. (2012). A requirements data model for product service systems. *Requirements Engineering*, 19(2), 161–186. <https://doi.org/10.1007/s00766-012-0164-1>
- Boehm, M., & Thomas, O. (2013, July). Looking beyond the rim of one's teacup: A multidisciplinary literature review of Product-Service Systems in Information Systems, Business Management, and Engineering & Design. *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.019>
- Brandstotep, M., Haberl, M., Knoth, R., Kopacek, B., & Kopacek, P. (2003). IT on Demand - Towards an Environmental Conscious Service System for Vienna (AT). In *EcoDesign 2003 : Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*. Tokyo.
- Bricogne, M. (2015). *Méthode agile pour la conception collaborative multidisciplinaire de systèmes intégrés : application à la mécatronique*. Ecole de technologie supérieure Université du Québec - Université de Technologie de Compiègne.
- Brown, J. (2003). *The Service Lifecycle Management Approach*. Retrieved from http://tech-clarity.com/images/The_Service_Lifecycle_Management_Approach.pdf
- Budde, O., Schuh, G., & Uam, J.-Y. (2010). Holistic PLM-Model - Deduction of a Holistic PLM-Model from the General Dimensions of an Integrated Management integrated management. In *International Conference on Product Lifecycle Management*. Bremen.
- Bullinger, H.-J., Fähnrich, K.-P., & Meiren, T. (2003). Service engineering—methodical development of new service products. *International Journal of Production Economics*, 85(3), 275–287. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00116-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00116-6)
- Daaboul, J., Da Cunha, C., Bernard, A., & Laroche, F. (2011). Design for mass customization: Product variety vs. process variety. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 60(1), 169–174.

<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.093>

- ElMaraghy, H., Schuh, G., Elmaraghy, W., Piller, F., Schönsleben, P., Tseng, M., & Bernard, A. (2013). Product variety management. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62(2), 629–652. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2013.05.007>
- Etienne, A., Guyot, E., Wijk, D. Van, & Roucoules, L. (2011). Specifications and development of interoperability solution dedicated to multiple expertise collaboration in a design framework. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 5(2/3/4), 272. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2011.043181>
- Eynard, B. (2005). *Gestion du cycle de vie des produits et dynamique des connaissances industrielles en conception intégrée*. Université de Technologie de Troyes. Retrieved from http://www-lasmis.utt.fr/fr/archives_ouvertes_these_hdr.html
- Ezzat, O., Medini, K., Boucher, X., & Delorme, X. (2019). Product and service modularization for variety management. In *International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production*.
- Fährnich, K., & Meiren, T. (2007). Service Engineering : State of the Art and Future Trends. In D. Spath & K. Fährnich (Eds.), *Advances in Services Innovations* (pp. 3–16). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Fowler, M., & Highsmith, J. (2001). *The Agile Manifesto*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10157-6_3
- Gausemeier, J., & Moehring, S. (2002). VDI 2206- A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 35(2), 785–790. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)34035-1](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)34035-1)
- Gero, J. S. (1990). Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. *AI Magazine*, 11(4), 26. <https://doi.org/10.1609/aimag.v11i4.854>
- Gero, J. S., & Kannengiesser, U. (2006). The situated function–behaviour– structure framework. *Design Studies*, 25(2004), 373–391. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2003.10.010>
- Goedkoop, M. J., Van Halen, C. J. G., Te Riele, H. R. M., & Rommens, P. J. M. (1999). *Product Service systems , Ecological and Economic Basics*. The Hague. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02125.x>
- Göknur, S. (2015). *Ingénierie des systèmes basés sur les modèles (MBSE) appliquée au processus de conception de simulation complexe : vers une ontologie de la modélisation et la simulation pour favoriser l ’ échange des connaissances en entreprise étendue*. Centrale Supélec. Retrieved from <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01168567>
- Guérineau, B., Rivest, L., Bricogne, M., Durupt, A., & Eynard, B. (2018). Towards a design-method selection framework for multidisciplinary product development. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN*. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0431>
- Hajimohammadi, A., Cavalcante, J., & Gzara, L. (2017). Ontology for the PSS Lifecycle Management. *Procedia CIRP*, 64, 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.016>
- Hara, T., Arai, T., Shimomura, Y., Sakao, T., & Elements, M. (2014). Service / Product Engineering : a new discipline for value production. In *19th International Conference on Production Research*.
- Hein, A. M., Poulain, B., Jankovic, M., Chazal, Y., & Fakhfakh, S. (2018). Product service system design in a system of systems context: A literature survey. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN*, 6(January), 2891–2902. <https://doi.org/10.21278/idc.2018.0358>
- INCOSE. (2015). *Systems Engineering Handbook : a guide for system life cycle processes and activities - Fourth edition*. (D. D. Walden, G. J. Roedler, K. J. Forsberf, R. D. Hamelin, & T. M. Shortell, Eds.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering — System life cycle processes. (2015).

- Jacobs, R. F., & Weston, “Ted” F. C. (2007). Enterprise resource planning (ERP)-A brief history. *Journal of Operations Management*, 25(2), 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2006.11.005>
- Kääriäinen, J., & Välimäki, A. (2009). Applying Application Lifecycle Management for the Development of Complex Systems: Experiences from the Automation Industry. In R. V. O’Connor, N. Baddoo, J. Cuadrado Gallego, R. Rejas Muslera, K. Smolander, & R. Messnarz (Eds.), *Software Process Improvement. EuroSPI 2009. Communications in Computer and Information Science*, vol 42. (pp. 149–160). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04133-4_13
- Komoto, H., & Tomiyama, T. (2009). Systematic generation of PSS concepts using a service CAD tool. *Introduction to Product/Service-System Design*. Retrieved from http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-84882-909-1_4
- Kracfik, J. F. (1988). Triumph of the Lean Production System. *Sloan Management Review*, 30(1).
- Labrousse, M., & Bernard, A. (2008). FBS-PPRE, an enterprise knowledge lifecycle model. In A. Bernard & S. Tichkiewitch (Eds.), *Methods and Tools for Effective Knowledge Life-Cycle-Management* (pp. 285–305). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-78431-9_16
- Le Duigou, J. (2010). *Cadre de modélisation pour les systèmes PLM en entreprise étendue. Application aux PME mécaniciennes*. Ecole Centrale de Nantes.
- Lindahl, M., Sundin, E., & Sakao, T. (2014). Environmental and economic benefits of Integrated Product Service Offerings quantified with real business cases. *Journal of Cleaner Production*, 64, 288–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.047>
- Mahut, F., Daaboul, J., Bricogne, M., & Eynard, B. (2016). Product-Service Systems for servitization of the automotive industry: a literature review. *International Journal of Production Research, In Press*(November), 1–19. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1252864>
- Manzini, E., & Vezzoli, C. (2003). A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the ‘environmentally friendly innovation’ Italian prize. *Journal of Cleaner Production*, 11(8), 851–857. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00153-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00153-1)
- Maussang, N., Zwolinski, P., & Brissaud, D. (2009). Product-service system design methodology: from the PSS architecture design to the products specifications. *Journal of Engineering Design*, 20(4), 349–366. <https://doi.org/10.1080/09544820903149313>
- Meier, H., Roy, R., & Seliger, G. (2010). Industrial Product-Service Systems—IPS2. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59(2), 607–627. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.05.004>
- Meier, H., Uhlmann, E., & Kortmann, D. (2005). Hybride Leistungsbündel – ein neues Produktverständnis. *Wt-Online - Ausgabe 7/8-2005*, S. 528.
- Meier, H., Völker, O., & Funke, B. (2011). Industrial Product-Service Systems (IPS2). *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(9–12), 1175–1191. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2764-6>
- Merlo, C., Eynard, B., Girard, P., Odinet, A., & Gallet, T. (2005). Compared implementations of PDM systems based on UML specifications. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 1(1), 52. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2005.007345>
- Merlo, C., & Girard, P. (2004). Information system modelling for engineering design co-ordination. *Computers in Industry*, 55(3), 317–334. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2004.08.008>
- Mont, O. (2002). Clarifying the concept of product–service system. *Journal of Cleaner Production*, 10(3), 237–245. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00039-7](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00039-7)
- Morelli, N. (2006). Developing new product service systems (PSS): methodologies and operational tools. *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1495–1501. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.023>

-
- Muller, G. (2013). Systems Engineering Research Methods. *Procedia Computer Science*, 16, 1092–1101. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.01.115>
- Müller, P., & Schmidt-Kretschmer, M. Blessing, L. (2007). Function Allocation in Product-Service Systems - Are there Analogies between PSS and Mechatronics? In *AEDS 2007 - Applied Engineering Design Science*. Retrieved from https://www.designsociety.org/publication/25798/function_allocation_in_product-service_systems-are_there_analogies_between_pss_and_mechatronics
- NASA. (2016). *NASA System Engineering Handbook SP-2016-6105 Rev2*.
- Object Management Group (Ed.). (2015). *OMG Systems Modeling Language (OMG SysML™) Version 1.4*. Retrieved from <http://www.omg.org/spec/SysML/1.4/>
- Park, Y., Geum, Y., & Lee, H. (2012). Toward integration of products and services: Taxonomy and typology. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M*, 29(4), 528–545. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2012.08.002>
- Peruzzini, M., Germani, M., & Favi, C. (2012). Shift from PLM to SLM: A method to support business requirements elicitation for service innovation. In L. Rivest, A. Bouras, & B. Louhichi (Eds.), *Product Lifecycle Management. Towards Knowledge-Rich Enterprises IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2012, Montreal, QC, Canada, July 9-11, 2012, Revised Selected Papers* (Springer, Vol. 388 AICT, pp. 111–123). Montreal: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35758-9_10
- Pol, G., Merlo, C., Legardeur, J., & Jared, G. (2008). Implementation of collaborative design processes into PLM systems. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 3(4), 279. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2008.027006>
- Roy, R. (2000). Sustainable product-service systems. *Futures*, 32(3–4), 289–299. [https://doi.org/10.1016/S0016-3287\(99\)00098-1](https://doi.org/10.1016/S0016-3287(99)00098-1)
- Sassanelli, C., Pezzotta, G., Pirola, F., Sala, R., Margarito, A., Lazoi, M., ... Terzi, S. (2018). Using design rules to guide the PSS design in an Engineering Platform based on the Product Service Lifecycle Management (PSLM) paradigms. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 11(2), 91–115. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2018.10011567>
- Scheidt, L.-G., & Zong, S. (1994). An Approach to Achieve Reusability of Electronic Modules. In *Proceedings of 1994 IEEE International Symposium on Electronics and The Environment*. San Francisco, CA, USA. <https://doi.org/10.1109/ISEE.1994.337237>
- Schuh, G., Riesener, M., Breunig, S., Koch, J., & Kuntz, J. (2017). Evaluation of Variety-induced Costs in Product-Service Systems (PSS). *Procedia CIRP*, 61, 673–678. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.239>
- Seifert, M., Thoben, K., & Eschenbacher, J. (2011). Mechanisms to conduct Life Cycles of Extended Products. In *Functional Thinking for Value Creation* (pp. 39–43). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19689-8>
- Shostack, G. L. (1984). Designing Services That Deliver. *Harvard Business Review*.
- Silventoinen, A., Pels, H. J., Kärkkäinen, H., & Lampela, H. (2011). Towards future PLM maturity assessment dimensions. In *International Conference on Product Lifecycle Management 2011*. Eindhoven.
- Terzi, S., Bouras, A., Dutta, D., Garetti, M., & Kiritsis, D. (2010). Product lifecycle management – from its history to its new role. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 4(4), 360. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2010.036489>
- Tseng, M. M., Jiao, J., & Merchant, M. E. (1996). Design for Mass Customization. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 45(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63036-4](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63036-4)
- Tukker, A. (2004). Eight types of product-service system: eight ways to sustainability? Experiences

- from SusProNet. *Business Strategy and the Environment*, 13(4), 246–260. <https://doi.org/10.1002/bse.414>
- Tukker, A., & Tischner, U. (2006). Product-services as a research field: past, present and future. Reflections from a decade of research. *Journal of Cleaner Production*, 14(17), 1552–1556. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.01.022>
- Umeda, Y., Takeda, H., Tomiyama, T., & Yoshikawa, H. (1990). Function, behaviour, and structure. *Applications of Artificial Intelligence in Engineering V*. Retrieved from <http://diyhpl.us/~bryan/papers2/Function, behaviour, and structure - Umeda - 1984.pdf>
- Varenne, F. (2008). Epistémologie des modèles et des simulations. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00674144>
- Wang, P. P., Ming, X. G., Li, D., Kong, F. B., Wang, L., & Wu, Z. Y. (2011a). Modular Development of Product Service Systems. *Concurrent Engineering*, 19(1), 85–96. <https://doi.org/10.1177/1063293X11403508>
- Wang, P. P., Ming, X. G., Li, D., Kong, F. B., Wang, L., & Wu, Z. Y. (2011b). Status review and research strategies on product-service systems. *International Journal of Production Research*, 49(22), 6863–6883. <https://doi.org/10.1080/00207543.2010.535862>
- Wang, P. P., Ming, X. G., Wu, Z. Y., Zheng, M. K., & Xu, Z. T. (2014). Research on industrial product–service configuration driven by value demands based on ontology modeling. *Computers in Industry*, 65(2), 247–257. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.11.002>
- Wiesner, S., Freitag, M., Westphal, I., & Thoben, K.-D. (2015). Interactions between Service and Product Lifecycle Management. In *7th Industrial Product-Service Systems Conference - PSS, industry transformation for sustainability and business* (Vol. 30, pp. 36–41). <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.018>
- Wong, M. T. N. (2004). *Implementation of innovative product service systems in the consumer goods industry*. University of Cambridge. Retrieved from <http://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.431530>
- Yang, X., Moore, P., Pu, J.-S. S., & Wong, C.-B. B. (2009a). A practical methodology for realizing product service systems for consumer products. *Computers and Industrial Engineering*, 56(1), 224–235. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.05.008>
- Yang, X., Moore, P., Pu, J. S., & Wong, C. B. (2009b). A practical methodology for realizing product service systems for consumer products. *Computers and Industrial Engineering*, 56(1), 224–235. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2008.05.008>
- Yesilbas, L. G., Rose, B., & Lombard, M. (2006). Specification of a repository to support collaborative knowledge exchanges in IPPOP project. *Computers in Industry*, 57(8–9), 690–710. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2006.04.014>



Notice bibliographique

A l'occasion de ces travaux de thèse, nous avons produit les communications scientifiques suivantes :

Article de journal international :

Mahut, F., Daaboul, J., Bricogne, M., & Eynard, B. (2017). Product-Service Systems for servitization of the automotive industry: a literature review. *International Journal of Production Research*, 55(7), 2102–2120. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1252864>

Article de conférence :

Mahut, F., Bricogne, M., Daaboul, J., & Eynard, B. (2016). Servicization of Product Lifecycle Management: Towards Service Lifecycle Management. In *IFIP WG 5.1, 12th International Conference on Product Lifecycle Management (PLM15)* (pp. 321–331). Doha, Qatar, Qatar. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33111-9_30

Mahut, F., Daaboul, J., Bricogne, M., & Eynard, B. (2015). Survey on Product-Service System applications in the automotive industry. In *IFAC-PapersOnLine* (Vol. 48, pp. 840–847). Ottawa, Canada, Canada: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.188>

Participation à des conférences :

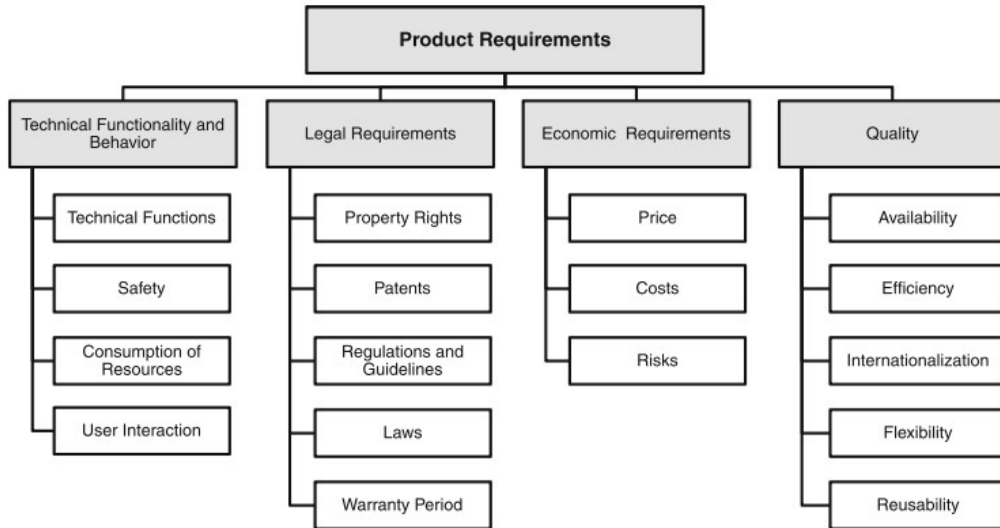
Mahut, F., Bricogne, M., Daaboul, J., Eynard, B.(2015). Review on PLM-SLM approaches supporting Product-Service System integration in automotive industry. In *Product and Asset Lifecycle Management -PALM*, Belfort-Montbéliard, France. 1-4 July 2015

Mahut, F., Daaboul, J., Bricogne, M., Eynard, B. (2015). Modèle de Systèmes Produit-Service : une étude de cas pour le service après-vente automobile. In *14ème Colloque National AIP Primeca*. 31 mars – 2 avril 2015.

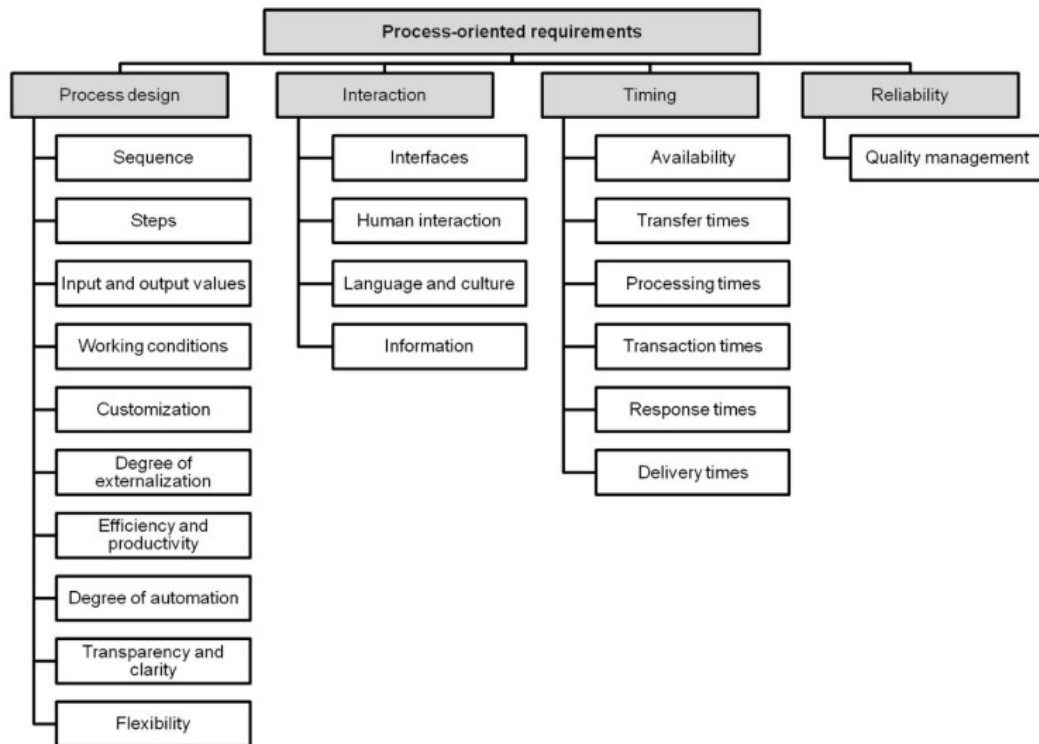


Annexes

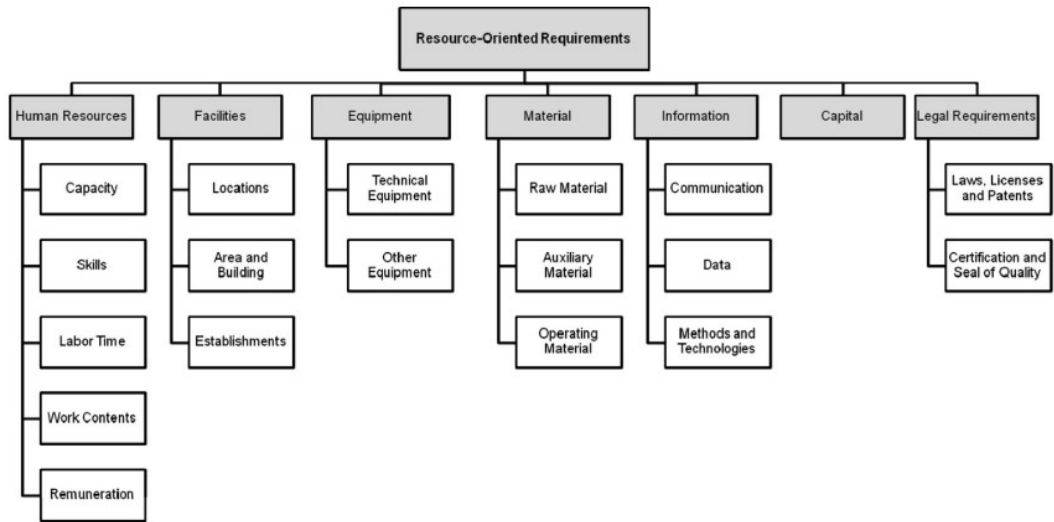
ANNEXE 1 - Taxonomie des exigences du *Requirement Data Model*



Taxonomy of product requirements related to the feature level



Taxonomy of process-oriented requirements related to the feature level



Taxonomy of resource-oriented requirements related to the feature level

Supports de soutenance

Laboratoire Roberval
FRE CNRS 2012

Intégration des approches PLM et SLM pour le développement
et la gestion des Systèmes Produit-Service en contexte
automobile : proposition d'un cadre méthodologique

Fabien Mahut – fabien.mahut@utc.fr

Thèse CIFRE ANRT - N° Convention 2015/0138

Entreprise Renault - Direction de l'Ingénierie Après-Vente



RENAULT



<http://roberval.utc.fr>



Contexte et objectifs



Ère de l'automobile historique



Offre très diversifiée



Services financiers



Services d'entretien et réparation

Ère des nouveaux services pour les véhicules connectés



Des concurrents issus des domaines du service et d'internet



1. Contexte et objectifs

2. État de l'art

3. Proposition

4. Mise en œuvre

5. Conclusion

Servicization de l'automobile

Servicization (Baines et al., 2007)



Product-Service System

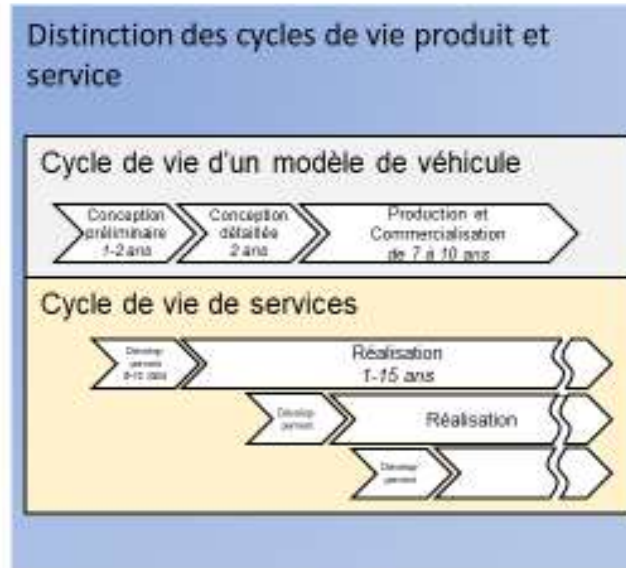
15 définitions majeures du PSS depuis Goedkoop et al. (1999) en passant par Boehm and Thomas (2013)

Définition adaptée de Boehm and Thomas (2013)

Le concept de PSS désigne un **système intégré de produits et services**, potentiellement en **interaction avec une infrastructure** nécessaire à sa réalisation, visant à créer un **bénéfice fonctionnel et/ou financier** pour son **bénéficiaire et/ou ses acteurs**



Les spécificités des PSS automobiles impliquent des enjeux de développement

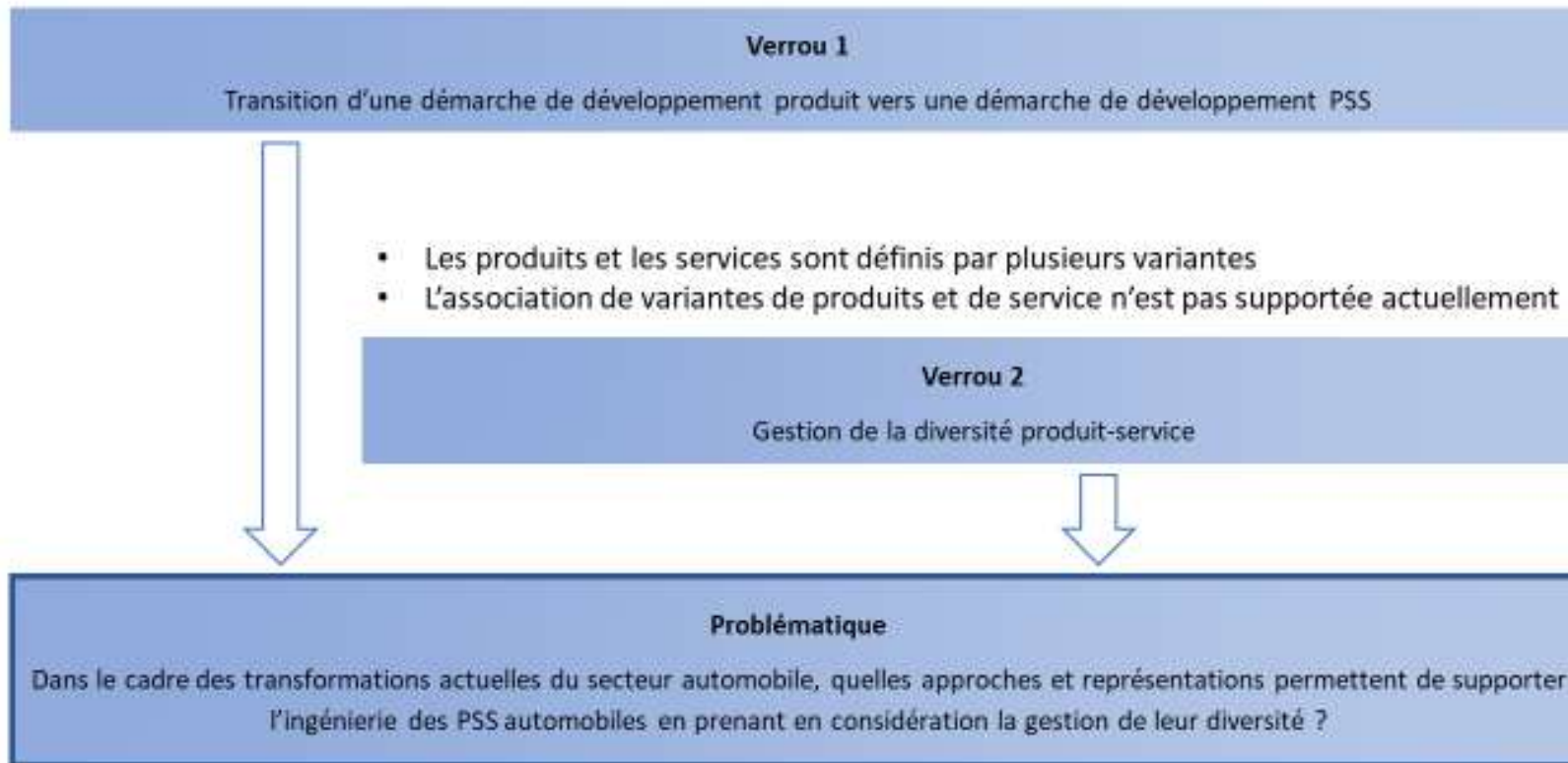


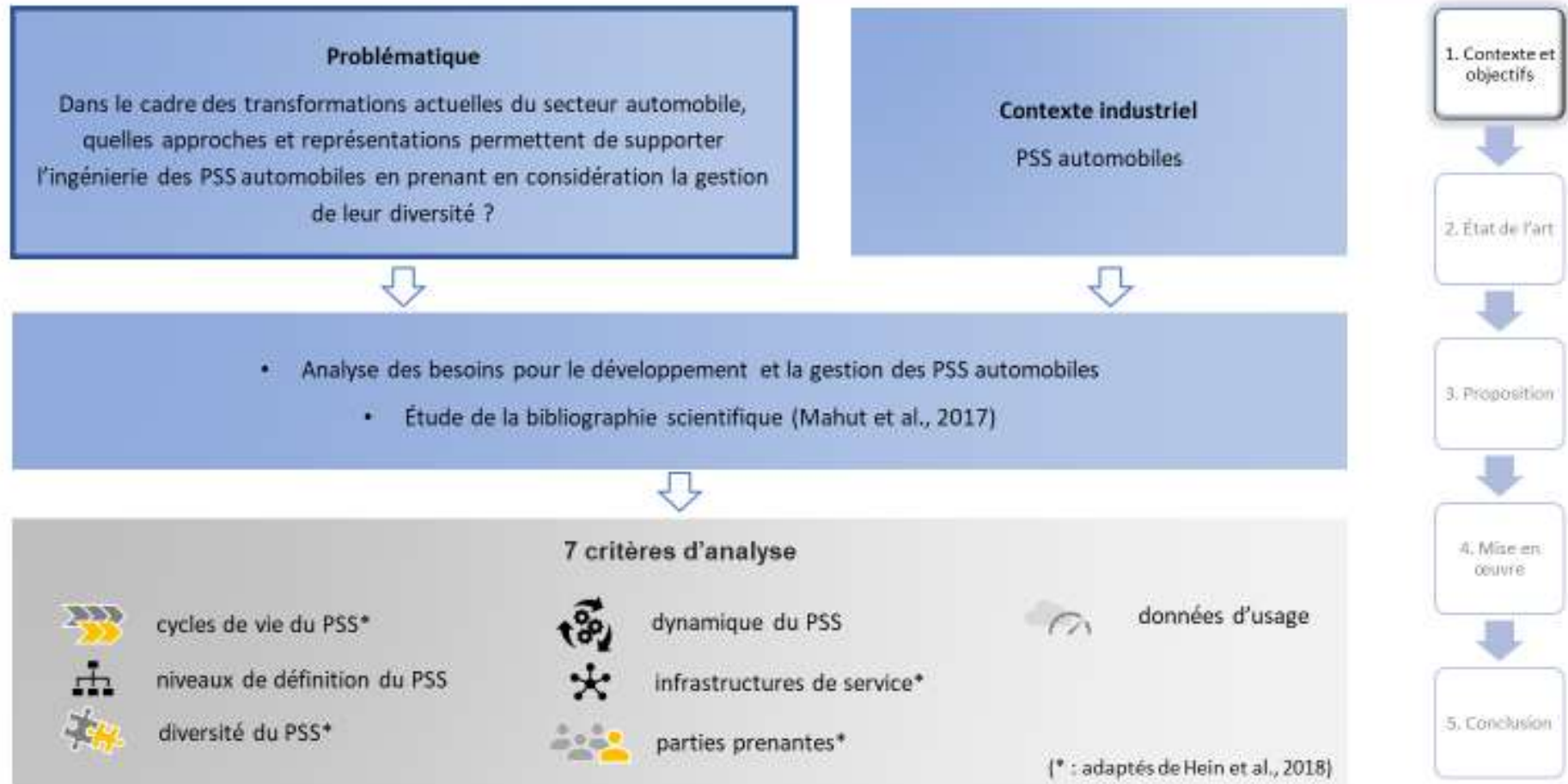
Enjeux industriels
Accompagner Renault et l'iDAV dans l'évolution des démarches de développement et de gestion des PSS

Traduction du contexte industriel en verrous et problématique

- Les démarches de développement sont spécifiques au type d'offres qu'elles permettent de développer
- Le PSS est différent du produit par nature

Exemple : service de robot taxi



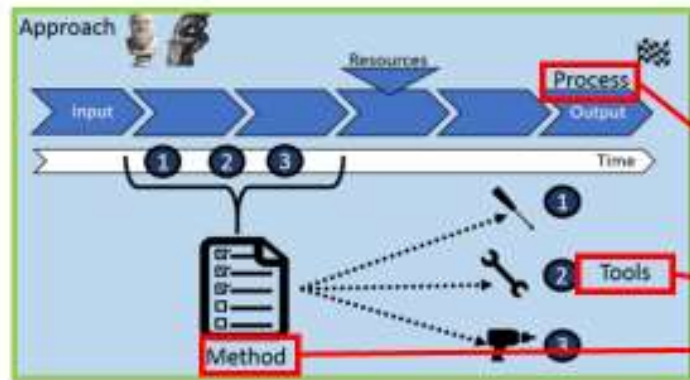


État de l'art

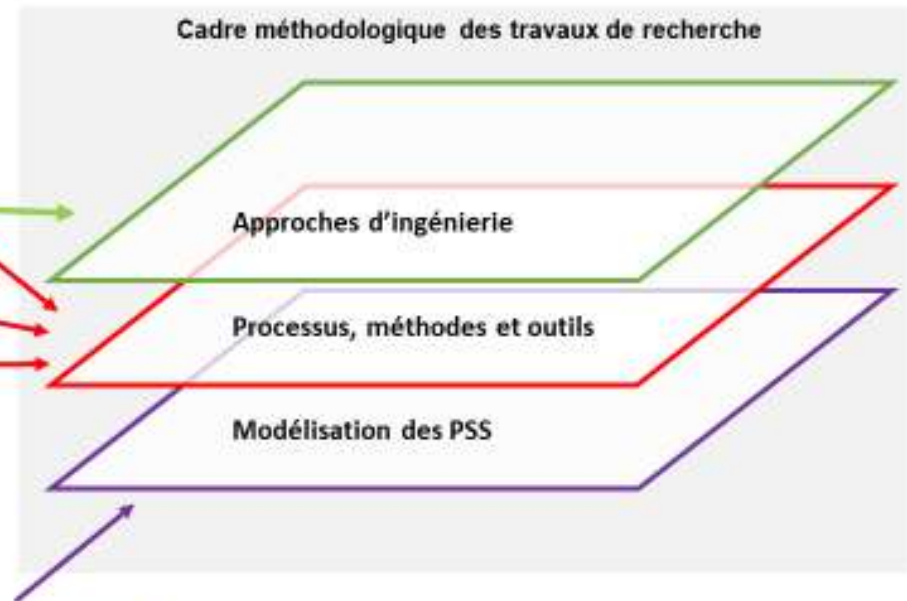




La problématique est abordée selon un cadre méthodologique décrivant les démarches d'ingénierie



(AFIS, 2004 ; Guérineau et al., 2018)



Les méthodologies s'appuient sur des modélisation des PSS



Approches centrées sur le développement de systèmes et contribuant à la problématique

Approche Agile	Application Lifecycle Management (ALM)	Enterprise Resource Planning	Ingénierie Système	Lean Management	Product Lifecycle Management (PLM)	Service Lifecycle Management (SLM)	Système de Management de la Qualité
(Fowler et al., 2001)	(Kääriäinen et al., 2009)	(Jacobs et al., 2007)	(INCOSE, 2015)	(Krafcik, 1988)	(Terzi et al., 2010)	(Brown, 2003; Bullinger et al., 2003)	ISO 9000



Cadre Interdisciplinaire de conception des systèmes sur leur cycle de vie

→ A adapter au système développé

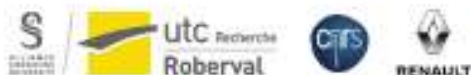
Couvre le cycle de vie du produit (Terzi et al., 2010)
 Utilise le Product Data Management (PDM) pour structurer les données de conception (Merlo et al., 2005 ; Eynard, 2005)
 Intègre les différentes disciplines d'ingénierie (Etienne et al., 2011 ; Yesilbas et al., 2006)

→ Supporte le développement produit

Approche similaire au PLM pour l'ingénierie des services (Brown, 2003)

Couvre le cycle de vie du service (Bullinger et al., 2003; Peruzzini et al., 2012)
 S'appuie sur des représentations du service stockées dans des outils informatiques.
 Intègre les différentes disciplines d'ingénierie

→ Supporte le développement service





- Produit supporté par le PLM, service supporté par le SLM
- Interactions entre produits et services dans le PSS

Nécessité d'intégrer les approches PLM et SLM pour supporter les PSS

Product-Service Lifecycle Management

- Knowledge Management (Sassanelli et al., 2018)
- Modular Product-Service Development (Wang et al., 2011)

Reposent sur une intégration PLM-SLM mais ne la décrivent pas

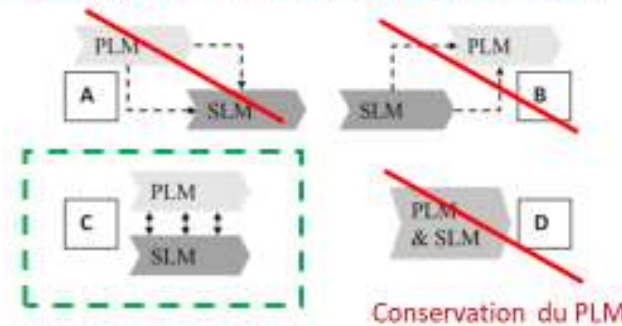
MANQUES

→ Nécessité de traduire l'intégration PLM-SLM à tous les niveaux du cadre

Schéma d'interaction PLM - SLM

(Wiesner et al., 2015)

Décorrélation des cycles de vie produit et service



Conservation du PLM

Ingénierie Système : cadre pour définir les interactions entre cycles de vie Produits et Services dans les PSS

APPORTS

PLM et SLM en parallèle pour supporter le développement de Produits et Services, dans un cadre d'Ingénierie Système

1. Contexte et objectifs

2. État de l'art

3. Proposition

4. Mise en œuvre

5. Conclusion

Processus, méthodes et outils



Processus de développement

Un processus supporte

- Les parties prenantes
- La décomposition du système

→ Cycle en V pour les PSS



Méthodes de développement

Satisfaire les critères qui ne sont pas abordés par le processus

<p>Gestion de la dynamiques du PSS</p> <p>dynamique</p> <p>Conception par des représentations narratives et comportementales (Morelli, 2006)</p>	<p>Gestion de la diversité PSS</p> <p>diversité P-S</p> <p>Configuration matricielle (Aurich et al., 2009)</p>
<p>Gestion des infrastructures de service</p> <p>infrastructures</p> <p>Sous-systèmes du PSS (Alonso-Rasgado et al., 2004) Exigences de ressources (Berkovich et al., 2012)</p>	<p>Gestion des données d'usage</p> <p>données d'usage</p> <p>PSS composé de services de gestion des données (Berkovich et al., 2012 ; Yang et al., 2009)</p>



APPORTS
Développement: PSS commun par un cycle en V et distinction produit/service au niveau composants

MANQUES
→ Intégration du processus et des méthodes et cohérence avec l'interaction parallèle PLM-SLM

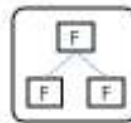


Intégration des approches PLM et SLM pour le développement et la gestion des PSS en contexte automobile

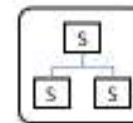
07/03/2019
Fabien Mahut
fabien.mahut@utc.fr

Les informations de conception s'articulent autour de plusieurs vues regroupant

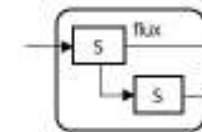
- La définition des besoins
- La solution et la décomposition produit-service
- Les comportements du PSS



Fonctionnelle



Structurelle



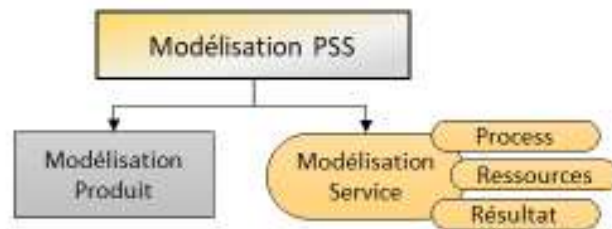
Comportementale

→ Modélisation du PSS avec trois vues de l'ingénierie système

(Gero 1990 ; INCOSE 2015 ; ISO/IEC/IEEE 15288:2015)
(Fährnich et al., 2007)

Intégrer les aspects spécifiques du PSS

→ Modélisation du service par trois attributs



(Berkovich et al., 2012 ; Bullinger et al., 2003 ; Fährnich et al., 2007)

APPORTS

Intégration dans la modélisation de PSS dans une démarche de développement

- Les trois vues système
- Les attributs de service

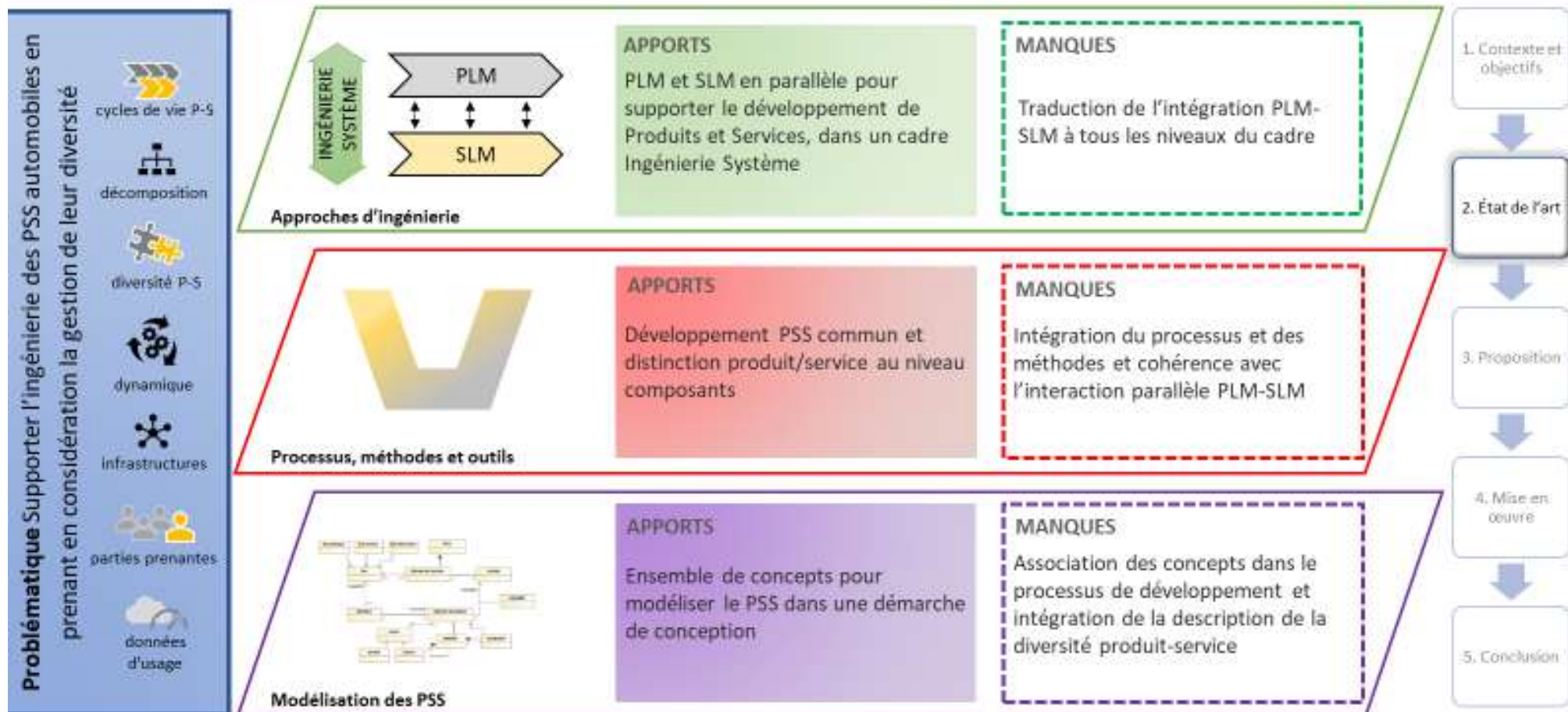
Résultat – Ressource – Process de service

MANQUES

→ Association de ces concepts dans le processus de développement et intégration de la description de la diversité produit-service



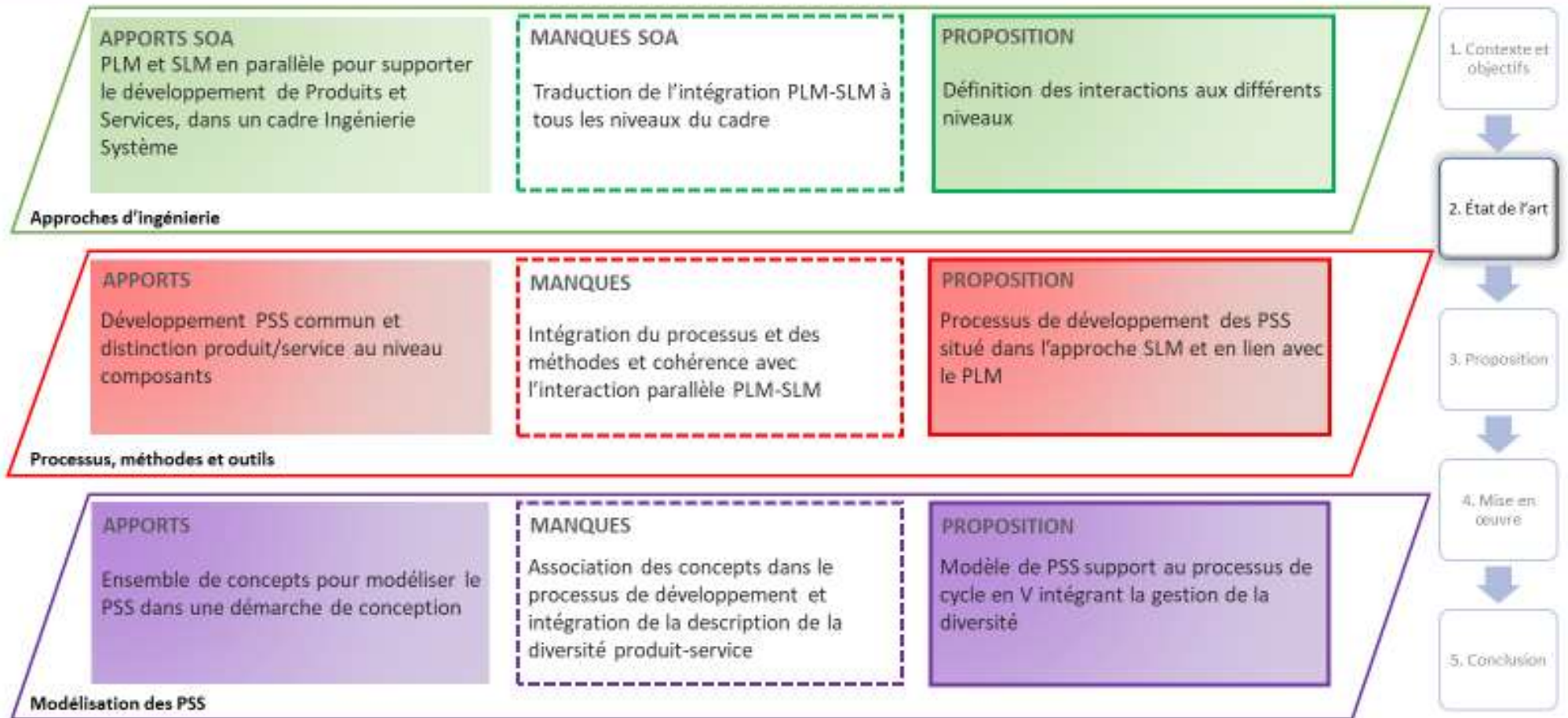
Synthèse de l'état de l'art



Proposition

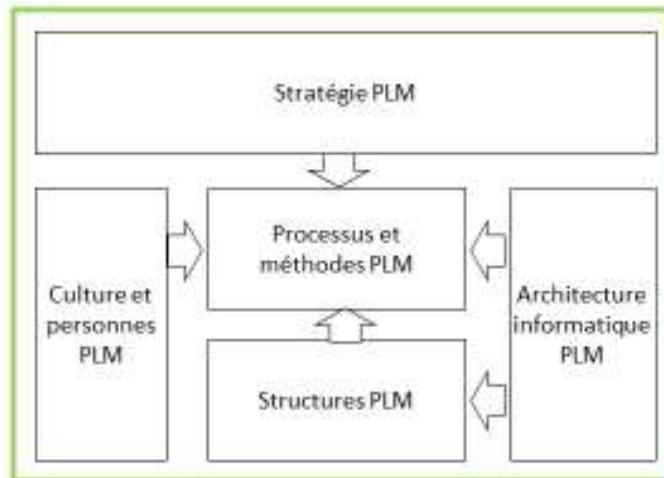


Proposition



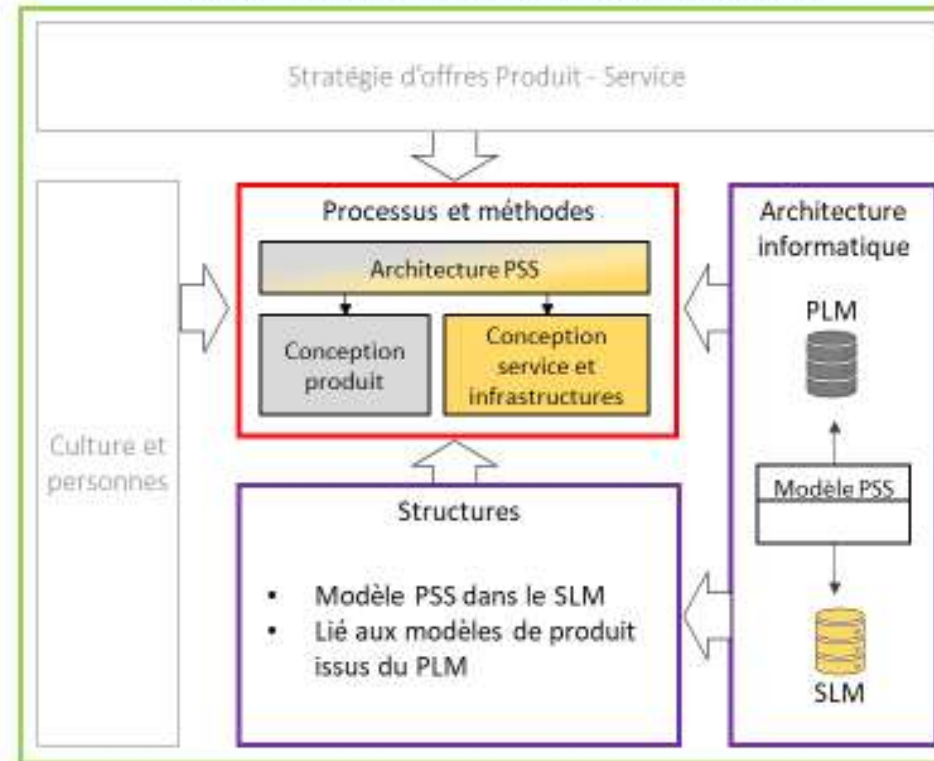


Besoin de détailler les interactions entre le PLM et le SLM de manière opérationnelle



(Silventoinen et al., 2011)

5 dimensions supportant l'intégration PLM-SLM



Démarche de développement de PSS entre PLM et SLM

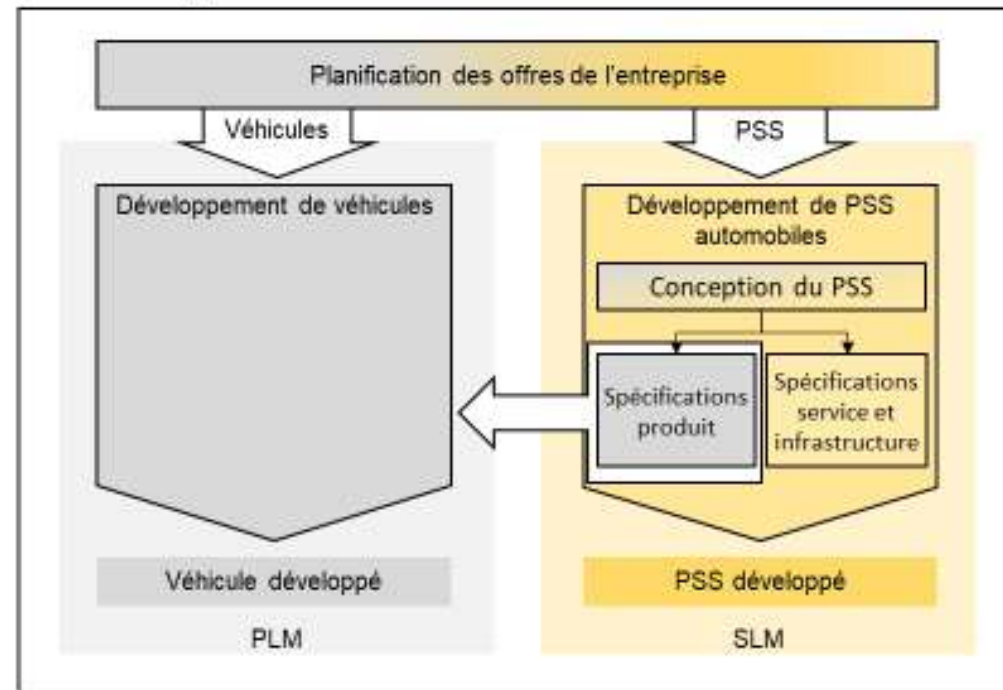
approches



Quelle distinction produit-service et PLM-SLM ?

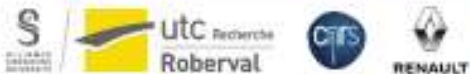


Le développement de PSS est abordé dans le SLM



PROPOSITION

Le PLM supporte le développement de véhicules, le SLM supporte le développement de PSS.



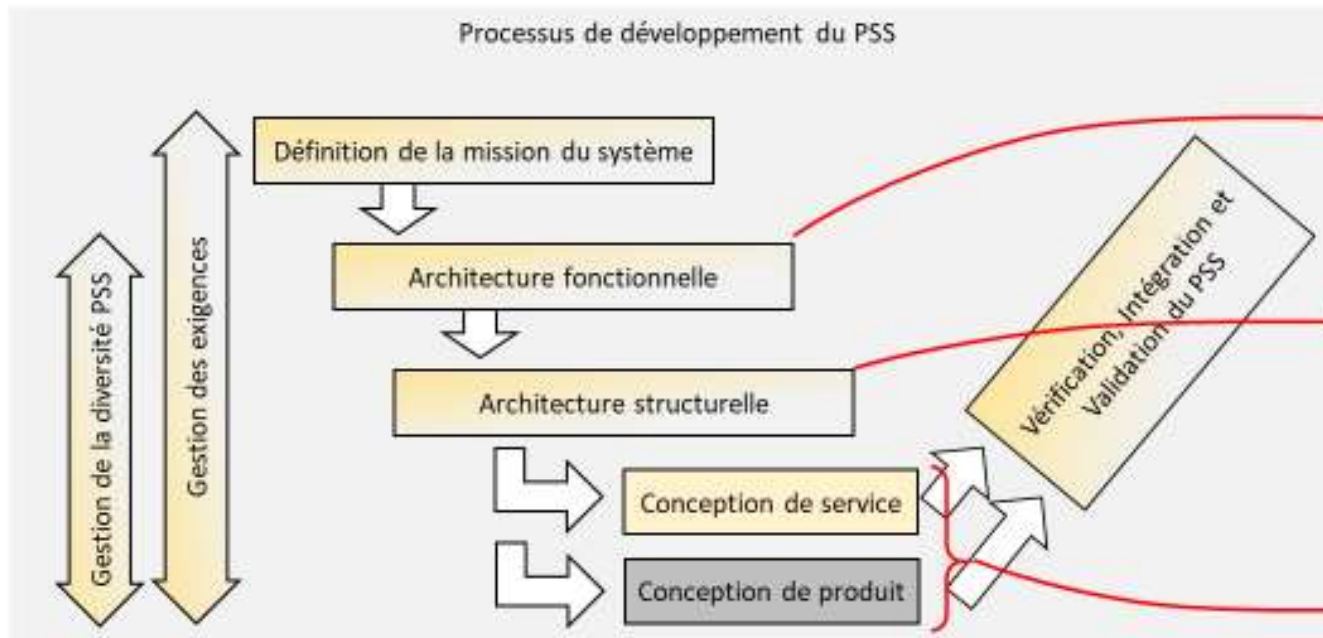
Intégration des approches PLM et SLM pour le développement et la gestion des PSS en contexte automobile

07/03/2019
Fabien Mahut
fabien.mahut@utc.fr



PROPOSITION

Processus de développement basé sur les architectures de PSS et intégrant l'ingénierie des exigences et la gestion de diversité de manière transversale



Apports principaux

- Variantes de fonction pour différents scénarios d'usage
- Fonctions de gestion des données d'usage



- Application de la distinction produit-service
- Identification des liens entre produits, services et infrastructure



- Intégration des disciplines de développement du service

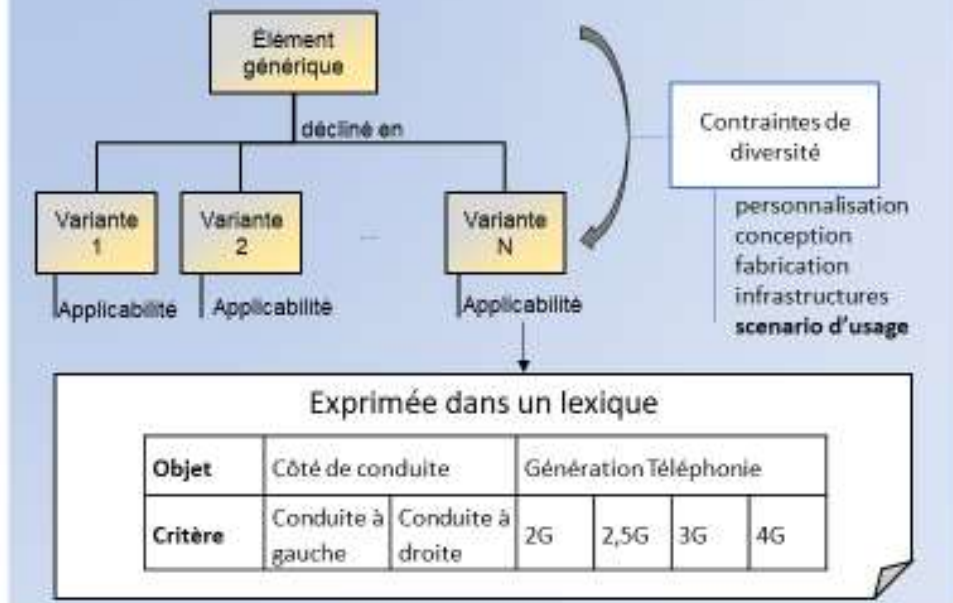


Focus sur la gestion de la diversité



Nécessité de définir les variantes par les contraintes à leur origine

→ **Démarche descriptive** : Lexique de diversité composé d'objets et de critères



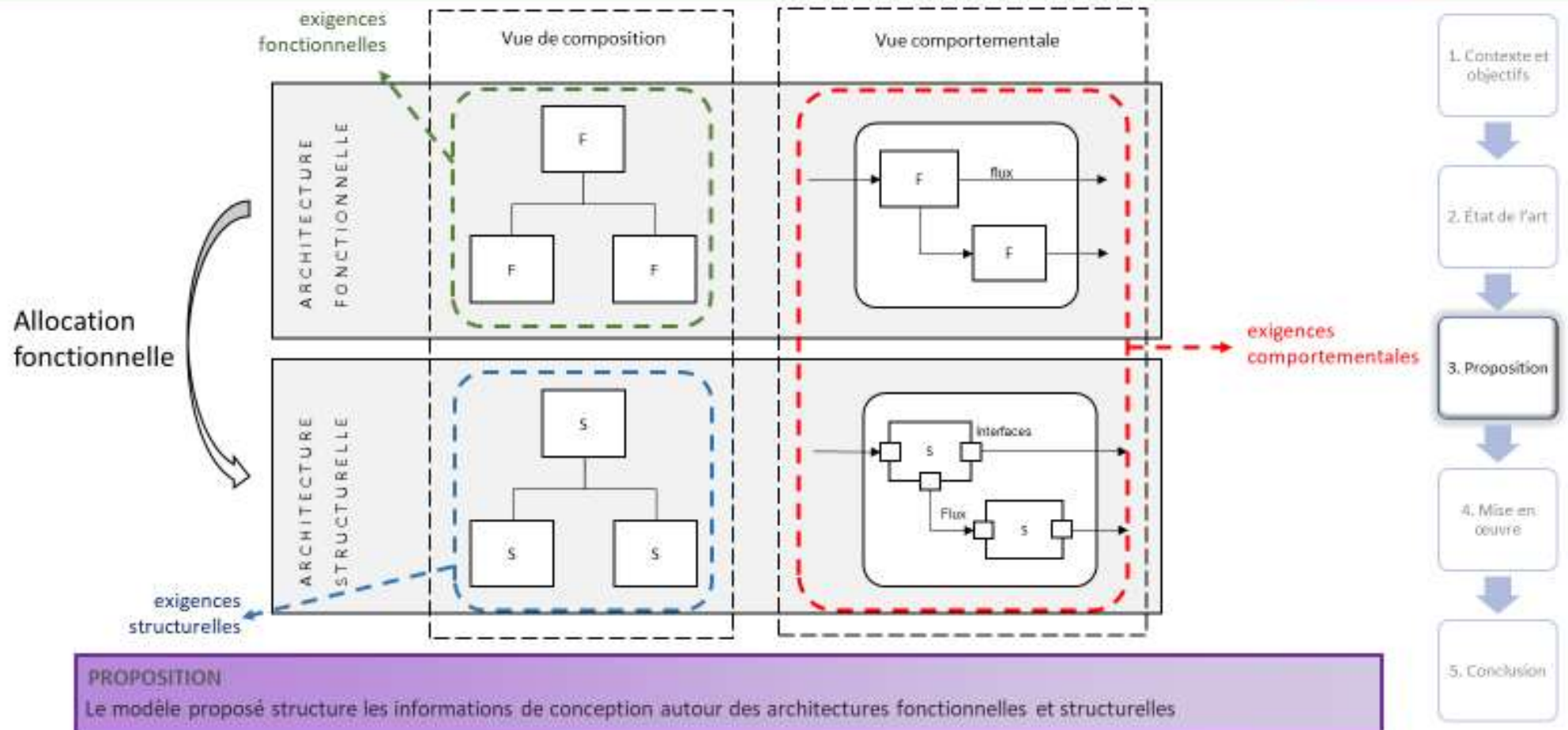
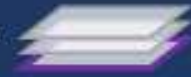
Nécessité d'associer les différentes variantes

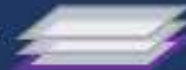
Associative : Association de différentes variantes du système dans une démarche matricielle

		Solution						
		Générique			Générique			
		Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	Var.	
Solution	Générique	Var.				0	1	1
		Var.				1	0	0
		Var.				0	1	0
	Générique	Var.	0	1	0			
		Var.	1	0	1			
		Var.	1	0	0			

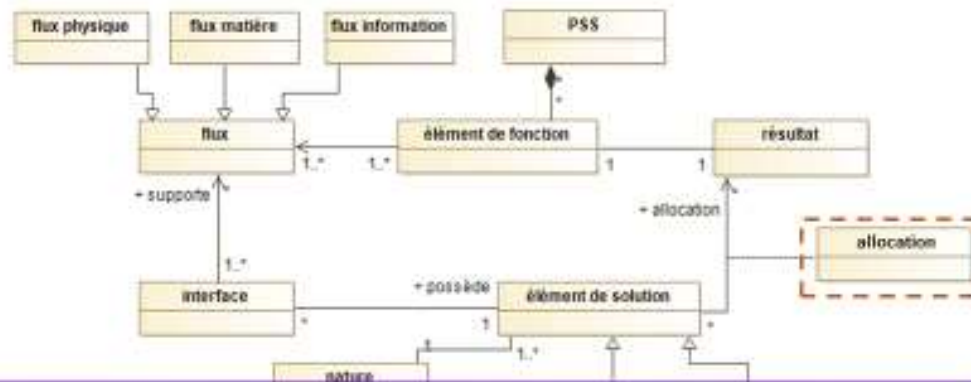
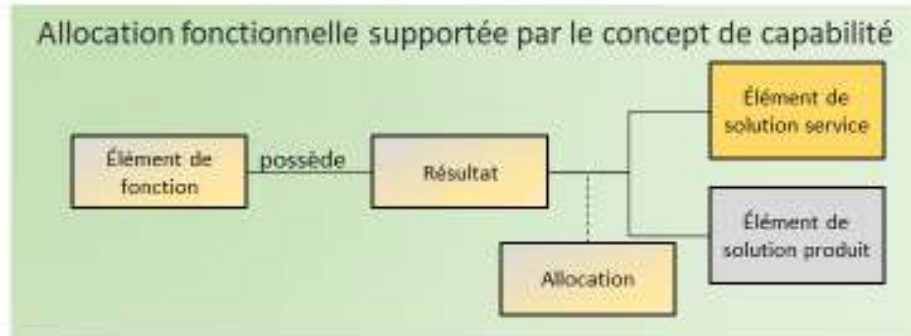
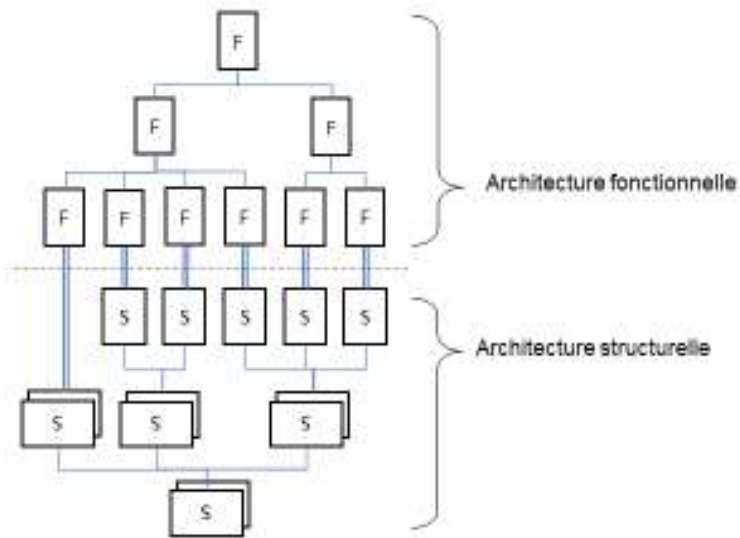


PROPOSITION
Mettre en œuvre l'applicabilité lexicale pour les produits et les services permet disposer d'une structure commune pour associer les variantes de produit et de service



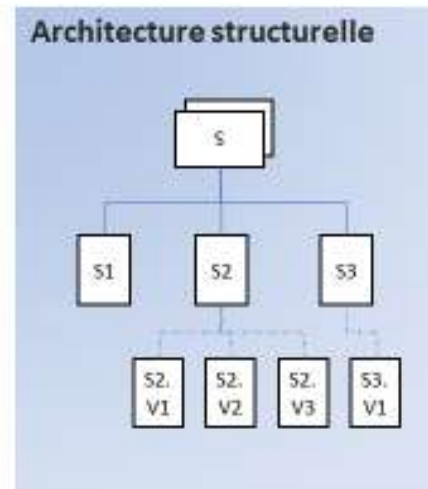
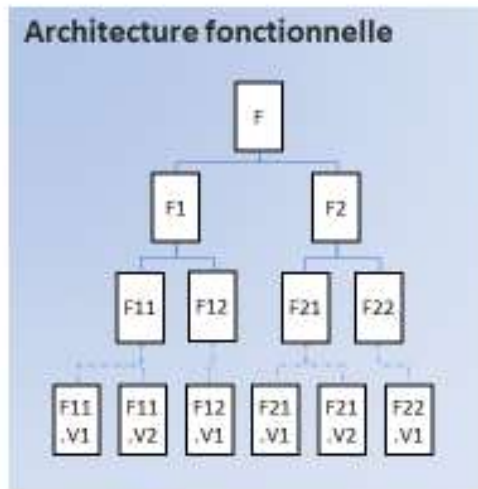


Liens d'allocation entre architecture fonctionnelle et structurale



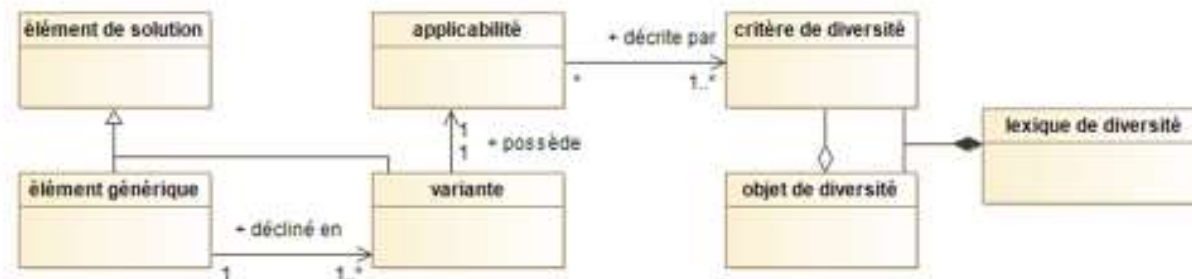
PROPOSITION
L'allocation fonctionnelle repose sur l'attribut de résultat des fonctions du PSS





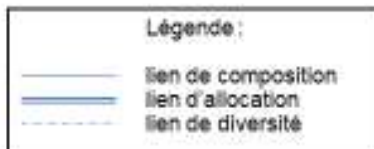
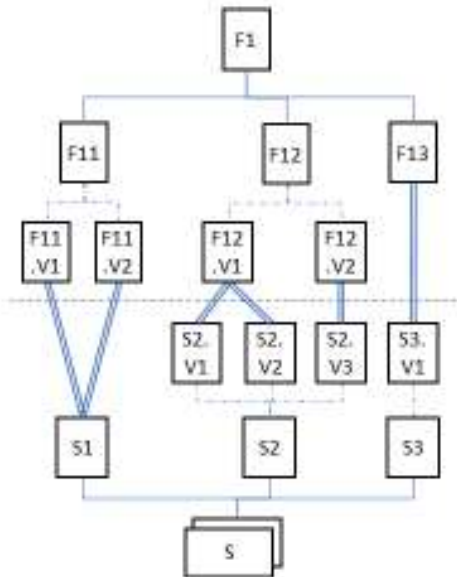
Légende :

- F_i Élément générique de fonction *i*
- S_i Élément générique de solution *i*
- F_i.V_j Variante *j* de fonction *i*
- S_i.V_j Variante *j* de solution *i*



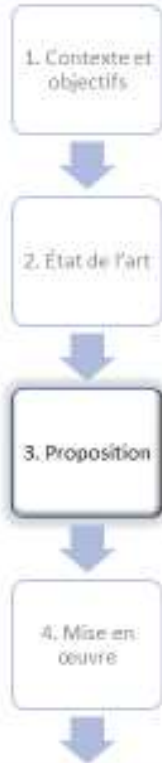
Diversité dans l'allocation fonctionnelle

L'allocation fonctionnelle s'applique également aux variantes



La diversité permet de décrire des configurations de PSS relatives à différents scénarios d'usage

Élément de solution	Éléments de fonction						
	Diagnostiquer le moteur à distance						
	Diagnostiquer le moteur		Alerter sur IHM			Envoyer le statut de diagnostic	
	Diagnostiquer partiellement	Diagnostiquer complètement	Alerter par audio	Alerter visuellement sur événement	Alerter visuellement en présentif	Envoyer sur route	Envoyer en garage
P1 Calculateur moteur	1	1					
P2 Calculateur injection		1					
P3 Calculateur FAP		1					
P4 Système multimédia			1	1	1	1	
P5 Calculateur central						1	1
P6 Antenne connectivité						AboConnect	
S1 Service connectivité véhicule						AboConnect	
S2 Service connectivité smartphone						SansAbo	



Matrice d'allocation intégrant des critères de diversité

Valeur d'une allocation

- « critère » avec contrainte de diversité
- « 1 » sans contrainte de diversité

PROPOSITION
L'allocation peut être caractérisée par des critères de diversité pour décrire des scénarios d'usage des services

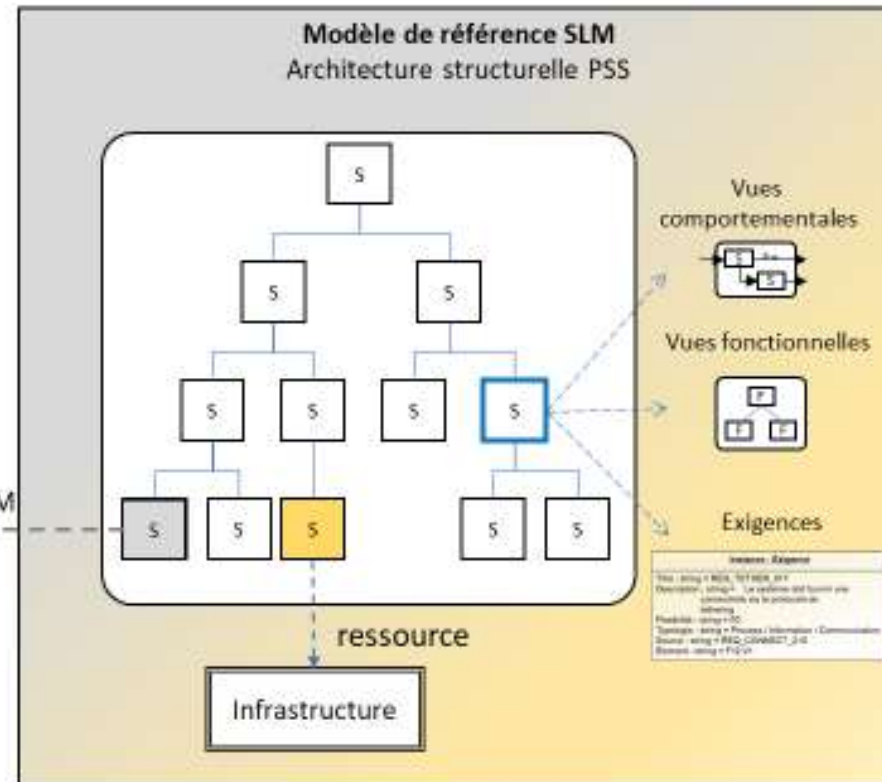
Nécessité de définir un modèle de référence pour structurer les informations du PSS dans le SLM

PROPOSITION
 L'architecture structurelle de PSS structure l'ensemble des informations de conception du PSS

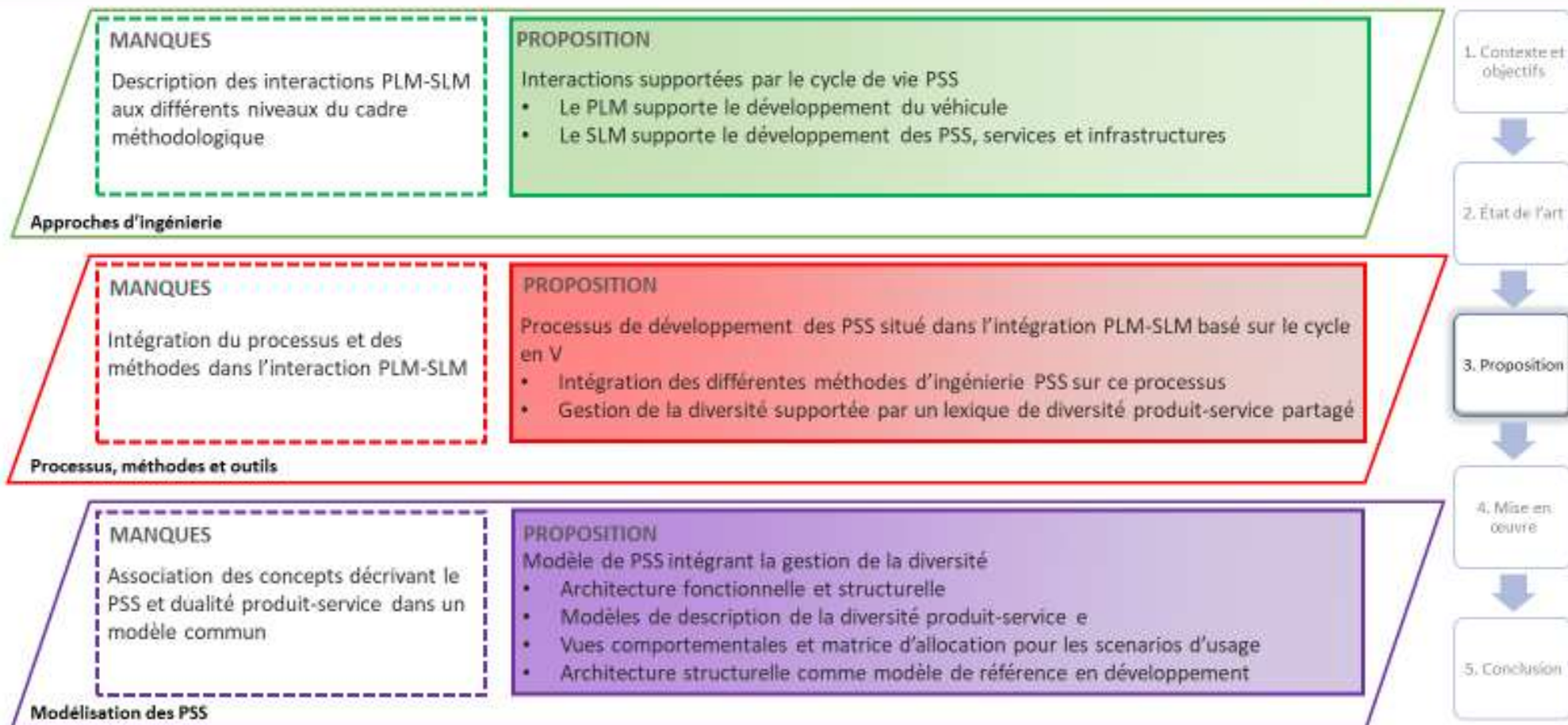
- Vues comportementales et fonctionnelles des sous-systèmes
- Exigences
- Lien des services aux infrastructures

Modèle de référence PLM
 PDM Nomenclature Véhicule

solutions produit
référencées dans le PLM



Synthèse de la proposition



Mise en œuvre



Mise en œuvre de la proposition à travers 2 cas d'étude



Service d'approvisionnement de pièces de rechange

▪ **Cas 1 : un service existant pour une grande diversité de produits**

- ⇒ *Apports industriels : Exploiter du modèle PSS un outil de visualisation de données de service*
- ⇒ *Apports scientifiques : S'assurer que la proposition fonctionne avec les services existants*



1. Contexte et objectifs

2. État de l'art

3. Proposition

4. Mise en œuvre

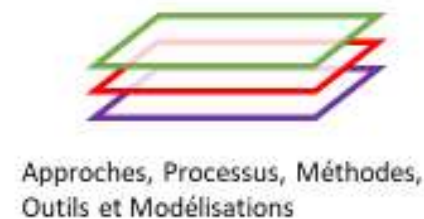
5. Conclusion



Service de Diagnostic Connecté

▪ **Cas 2 : conception d'un nouveau service intégrant les caractéristiques des PSS automobiles**

- ⇒ *Apports industriels : Illustration de la proposition de développement des PSS*
- ⇒ *Apports scientifiques : Evaluer la proposition sur tous les critères d'analyse*





Véhicule



Pièce de Rechange



Catalogue de Pièces de Rechange et portail de commande

1. Contexte et objectifs

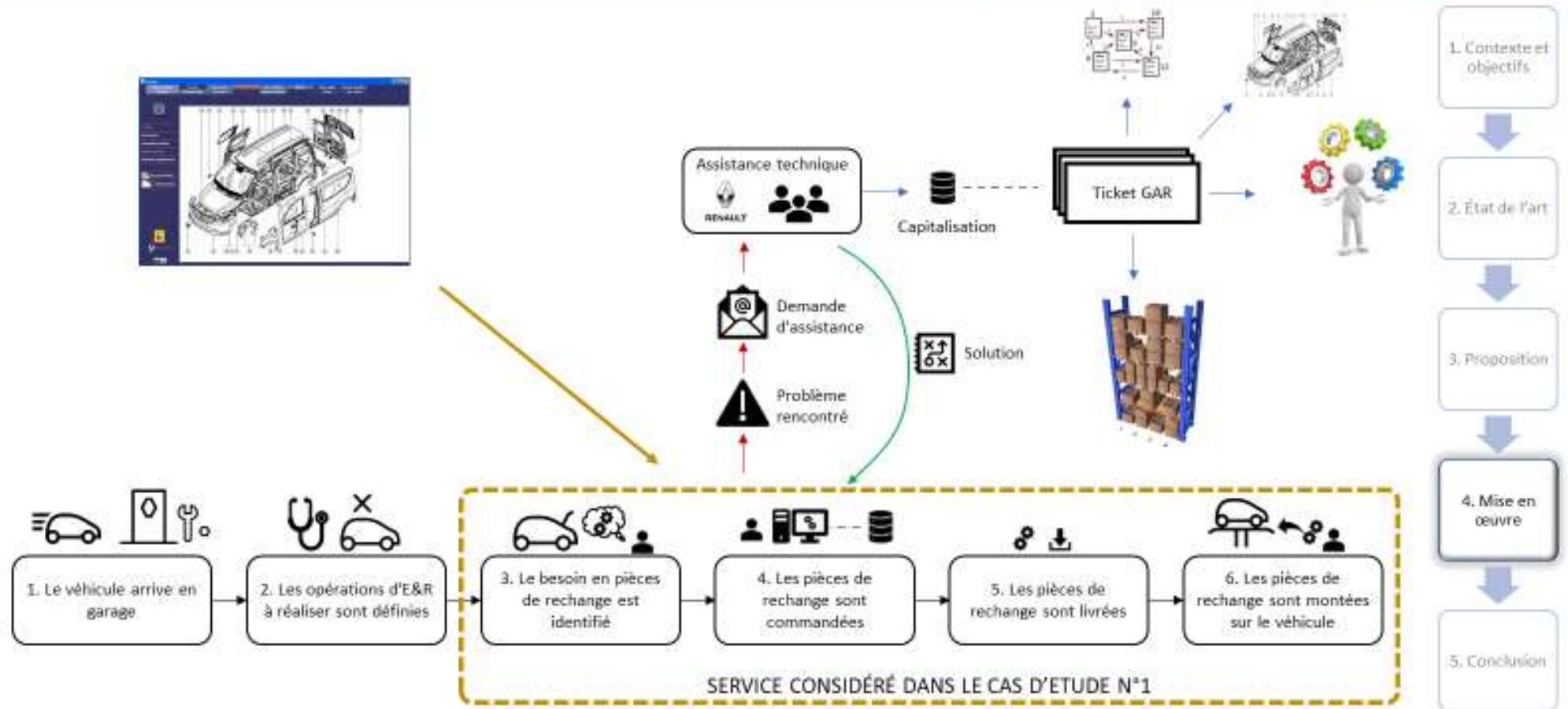
2. État de l'art

3. Proposition

4. Mise en œuvre

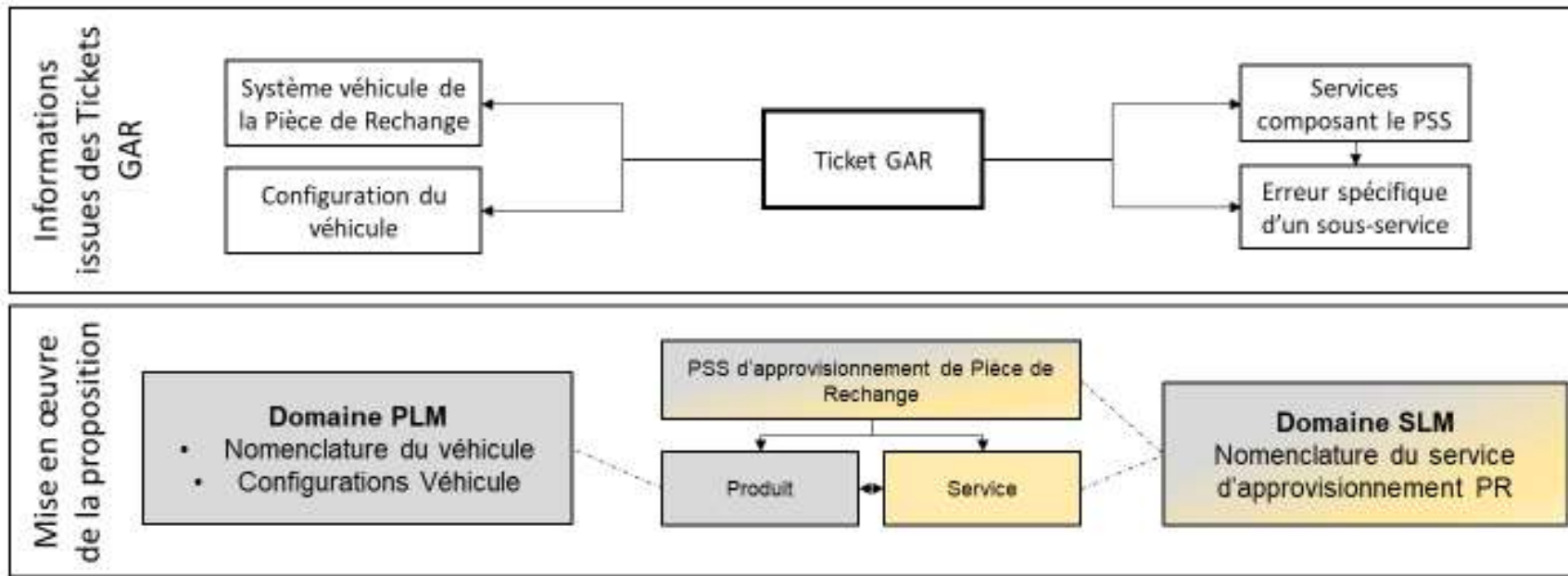
5. Conclusion

Service d'approvisionnement de Pièce Rechange





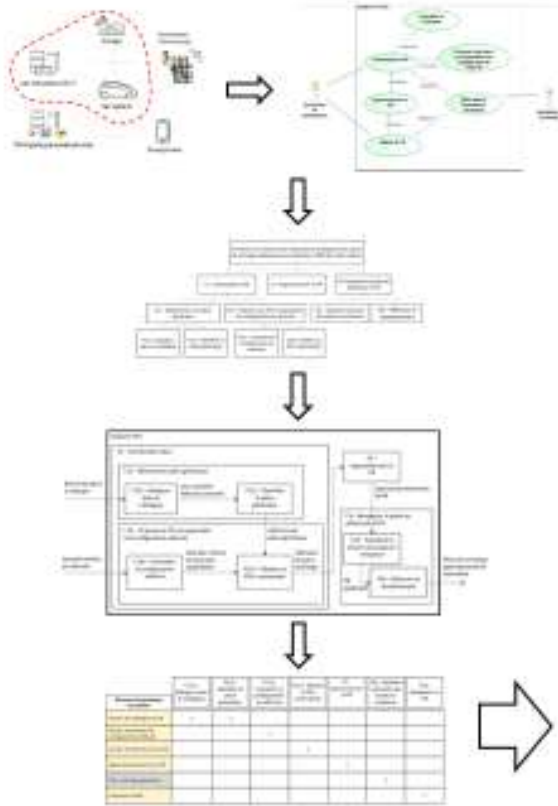
Le service d'approvisionnement de PR s'appuie sur les approches PLM et SLM



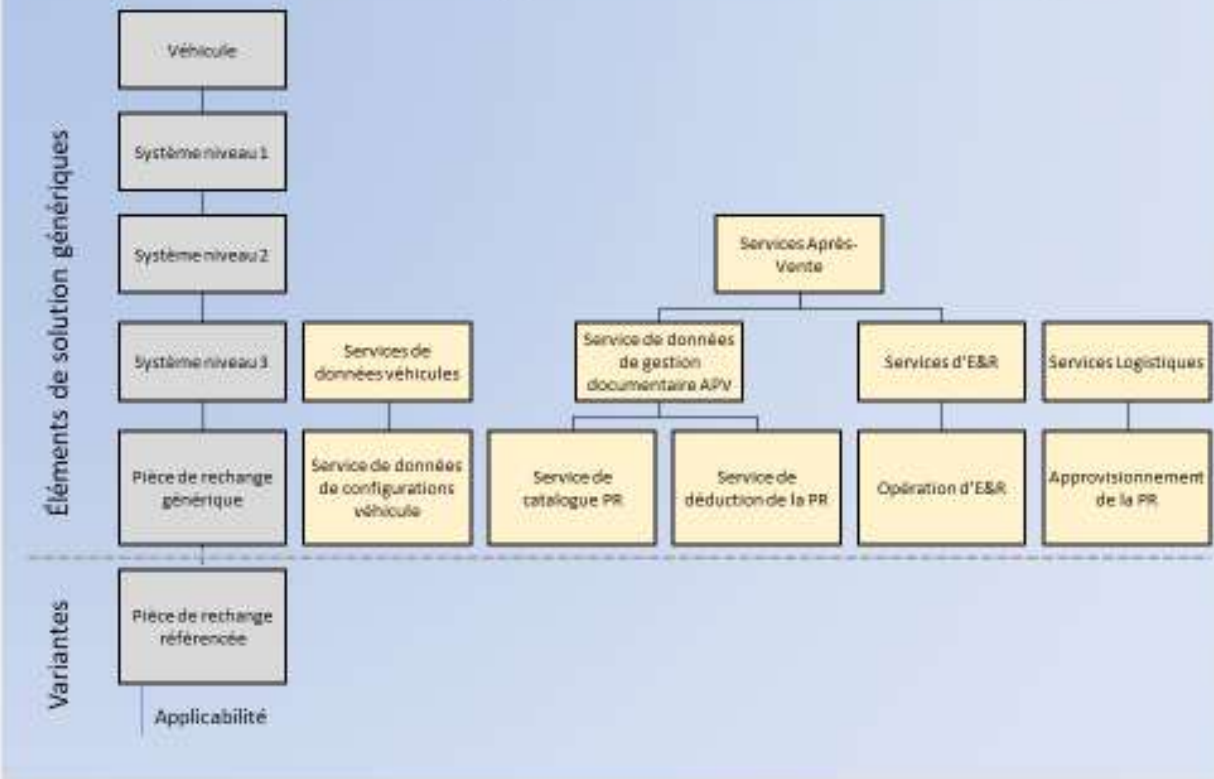
→ Apport des travaux : développer le modèle de service et l'associer aux modèles de produit

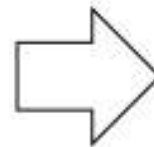


Architecture structurelle du PSS d'approvisionnement de Pièces de Rechange



Architecture structurelle du PSS d'approvisionnement de Pièces de Rechange





Développement d'un outil d'analyse et de visualisation

Outil de mesure de la qualité du service d'approvisionnement des PR

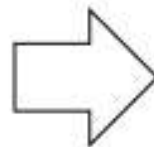
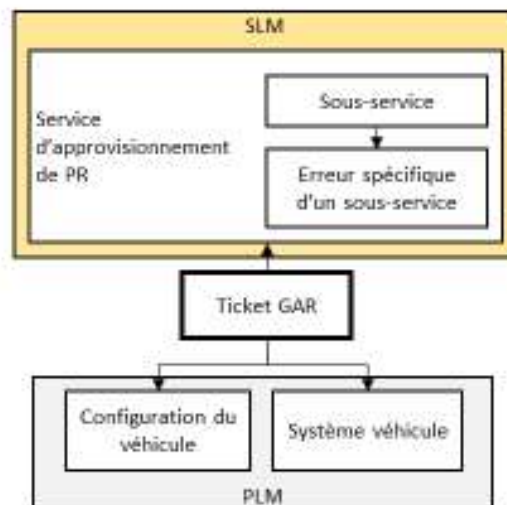
- Présenter une vision précise des étapes du service associées aux tickets GAR
- Identifier les systèmes véhicules et les configurations concernés par des problèmes GAR



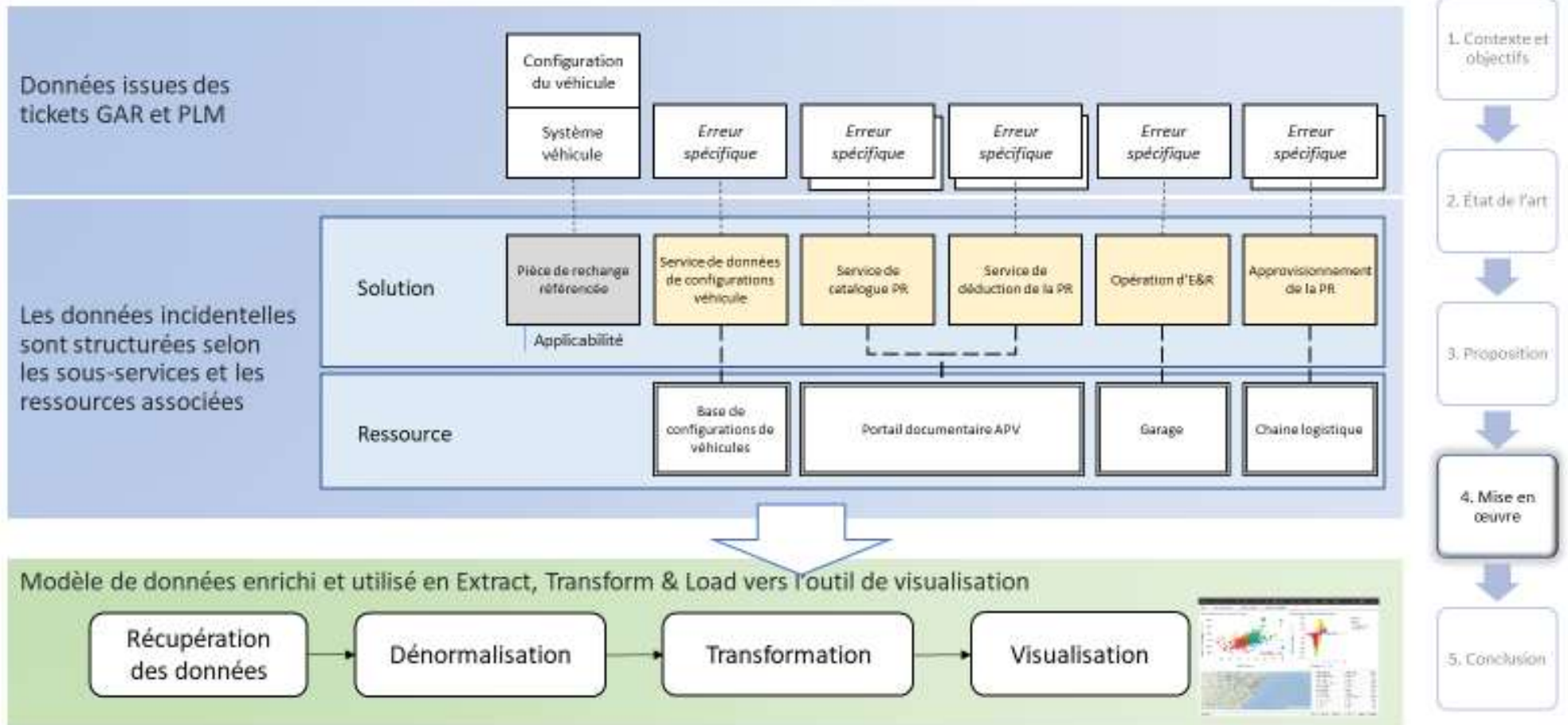
Plateforme Spotfire



Outil Data Analyse GAR



Modélisation des données pour la visualisation





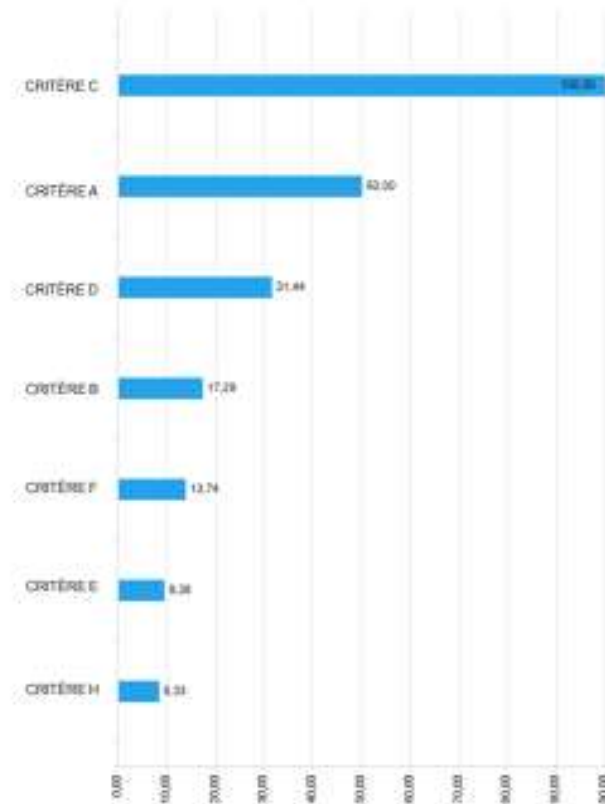
Écran d'accueil de l'outil de visualisation



Exemples de visualisations

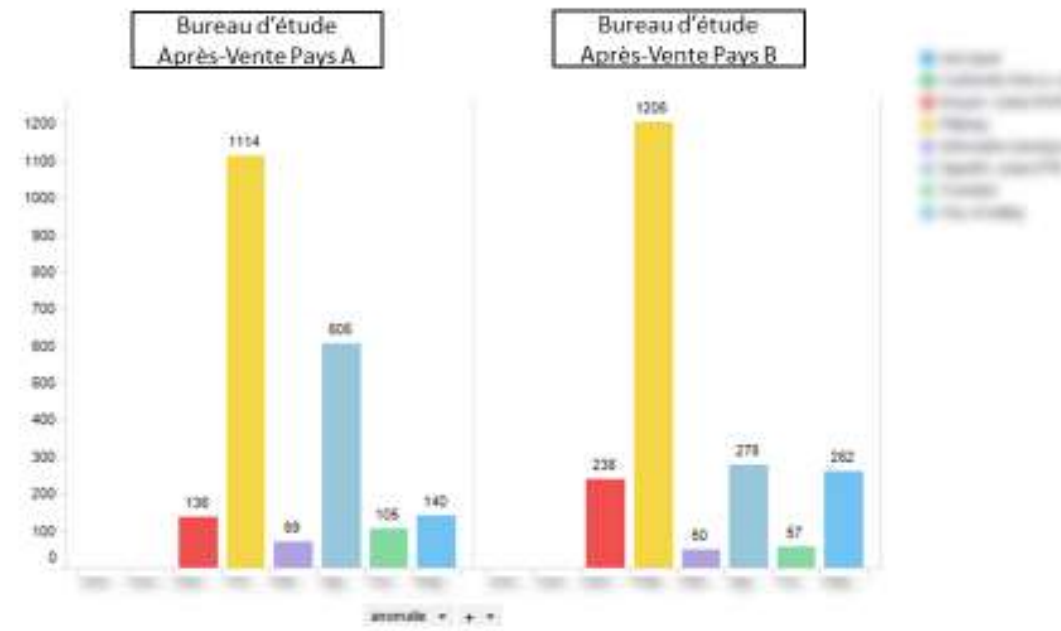


Association entre erreur de service et système véhicule



Indicateur de sur-représentativité d'un critère de diversité





Association entre erreurs de service et bureau d'étude Après-Vente concerné





Apports directs pour Renault

- Visualiser des données de qualité du service d'approvisionnement de Pièces de Rechange
- Identifier des causes racines d'un problème récurrent en identifiant associations entre produits et services

Apports indirects pour Renault

- Appropriation des données de service
- Retour d'expérience de premiers projets Big Data APV

Apports pour les travaux

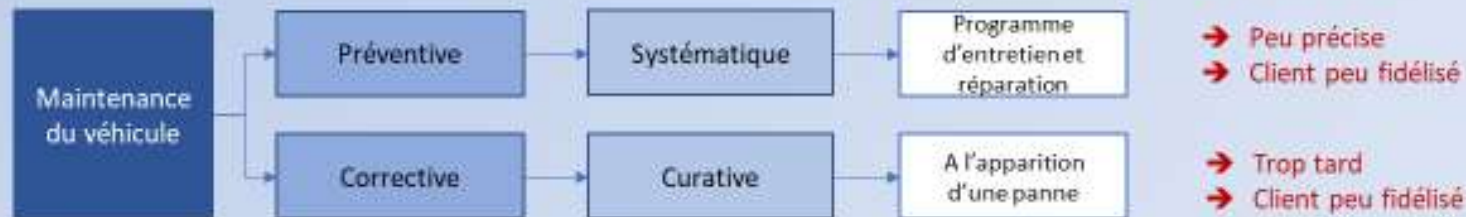
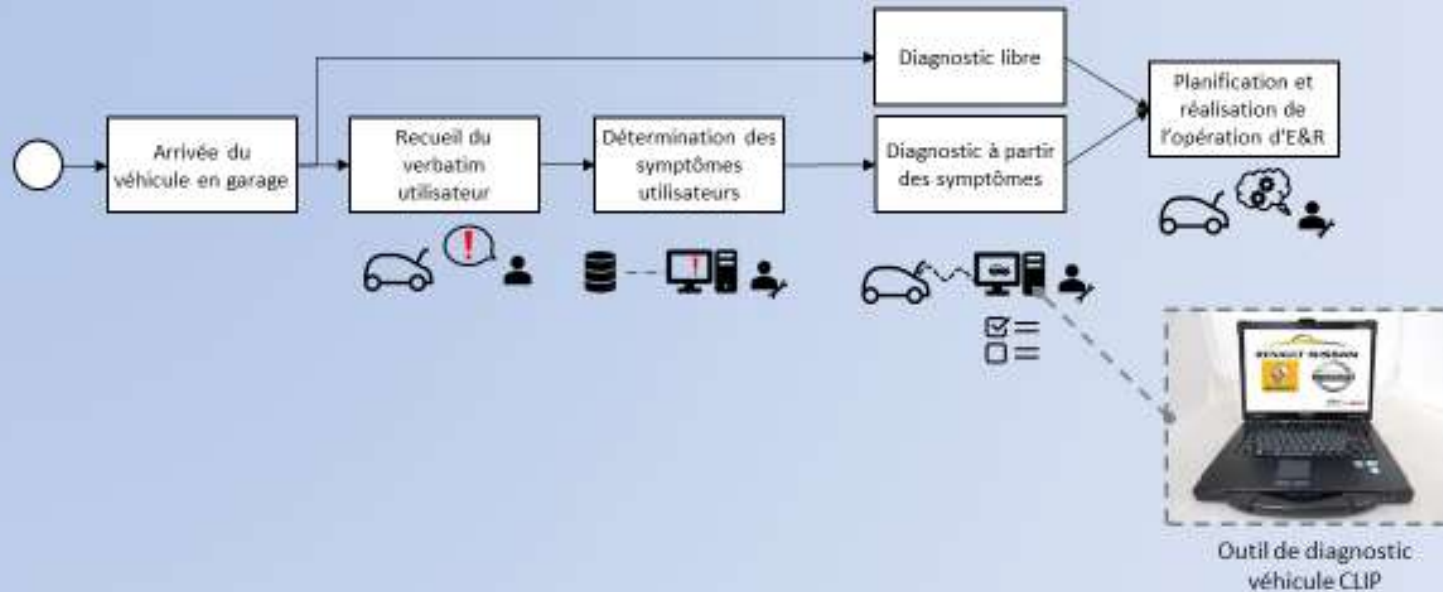
- Consolidation du modèle de PSS proposé par la confrontation à un cas réel et maîtrisé
- Identification de la difficulté de traitement calculatoire des données de configuration véhicule

Limites

- Expérimentation partielle de la proposition
- Service considéré n'intègre pas toutes les spécificités du PSS



Service de diagnostic historique

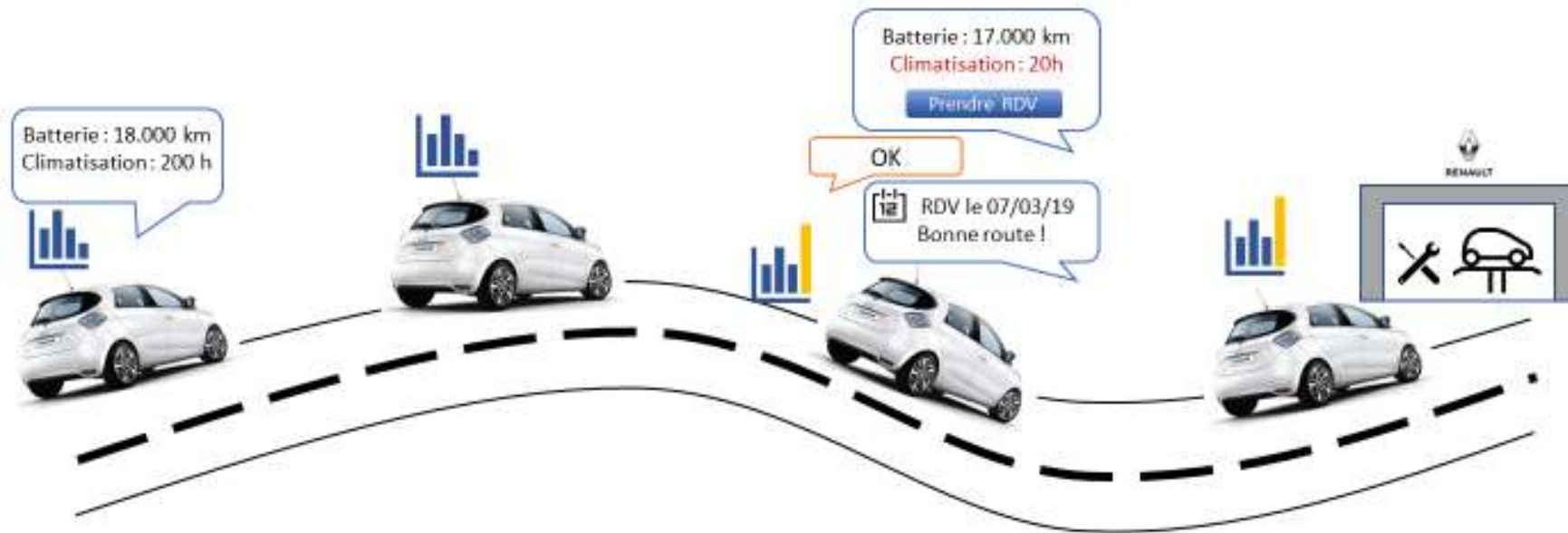


Cas d'étude n°2 – Diagnostic connecté

Mesurer continuellement les variables du véhicule et identifier des opérations de maintenance

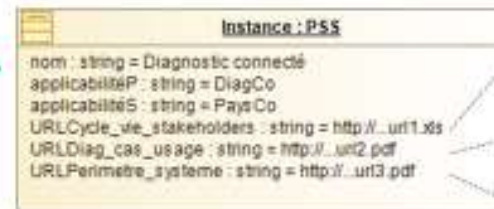
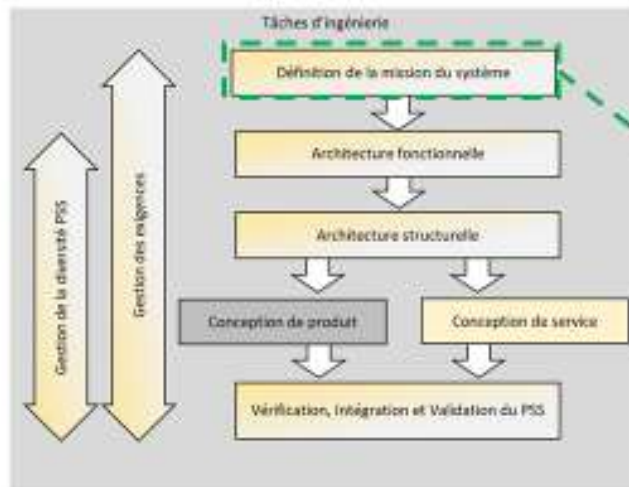


- Proposer au client une visualisation des échéances d'E&R ajustées selon l'usage réel de son véhicule
- Récupérer des informations d'usage pour améliorer les véhicules et les services



Définition des missions du système permettent de

- Définir et intégrer les parties prenantes et phases de vie du PSS  parties prenantes
- Identifier les scénarios d'usage  dynamique
- Identifier le périmètre système du PSS  infrastructures

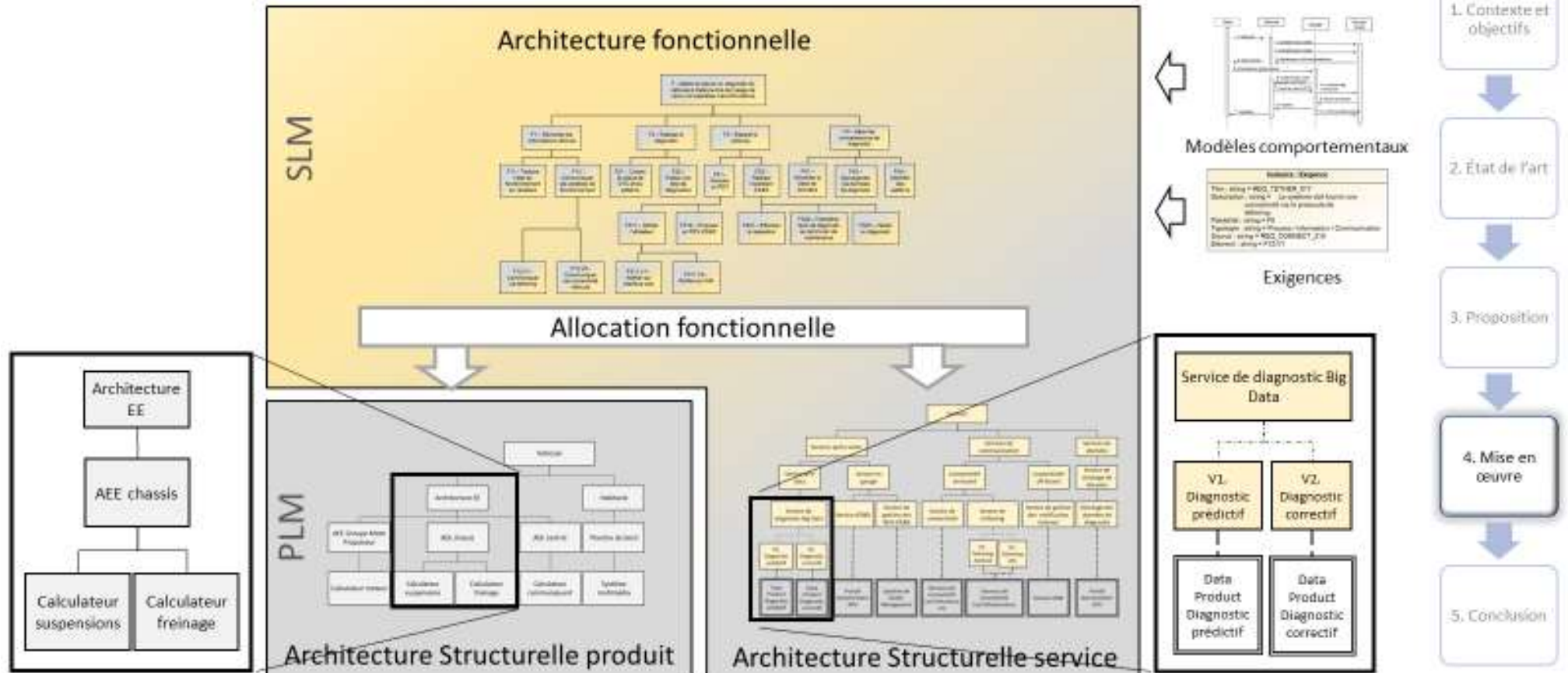


Item	Description	Statut
1	Conception des tâches de diagnostic	En cours
2	Intégration des tâches de diagnostic	En cours
3	Validation des tâches de diagnostic	En cours
4	Intégration des tâches de diagnostic	En cours
5	Validation des tâches de diagnostic	En cours



Architectures dans les approches PLM et SLM

Les architectures supportent les informations de conception du PSS






Apports pour Renault

- Illustration de la proposition sur un cas d'étude concentrant les problématiques de développement des nouveaux services
- Support de discussion et d'échanges dans la transition vers le SLM et les PSS
- iDAV : potentiel de réutilisation des modèles du PSS pour structurer les activités de maintenance du PSS

Apports pour les travaux

- Application des choix structurants à un niveau opérationnel
- Couverture des spécificités des PSS 
- Support des échanges qui ont permis de qualifier la proposition

Limites

- Mis en œuvre à échelle réduite
- Aspects pluridisciplinaires de la conception à approfondir, notamment pour la conception logicielle 

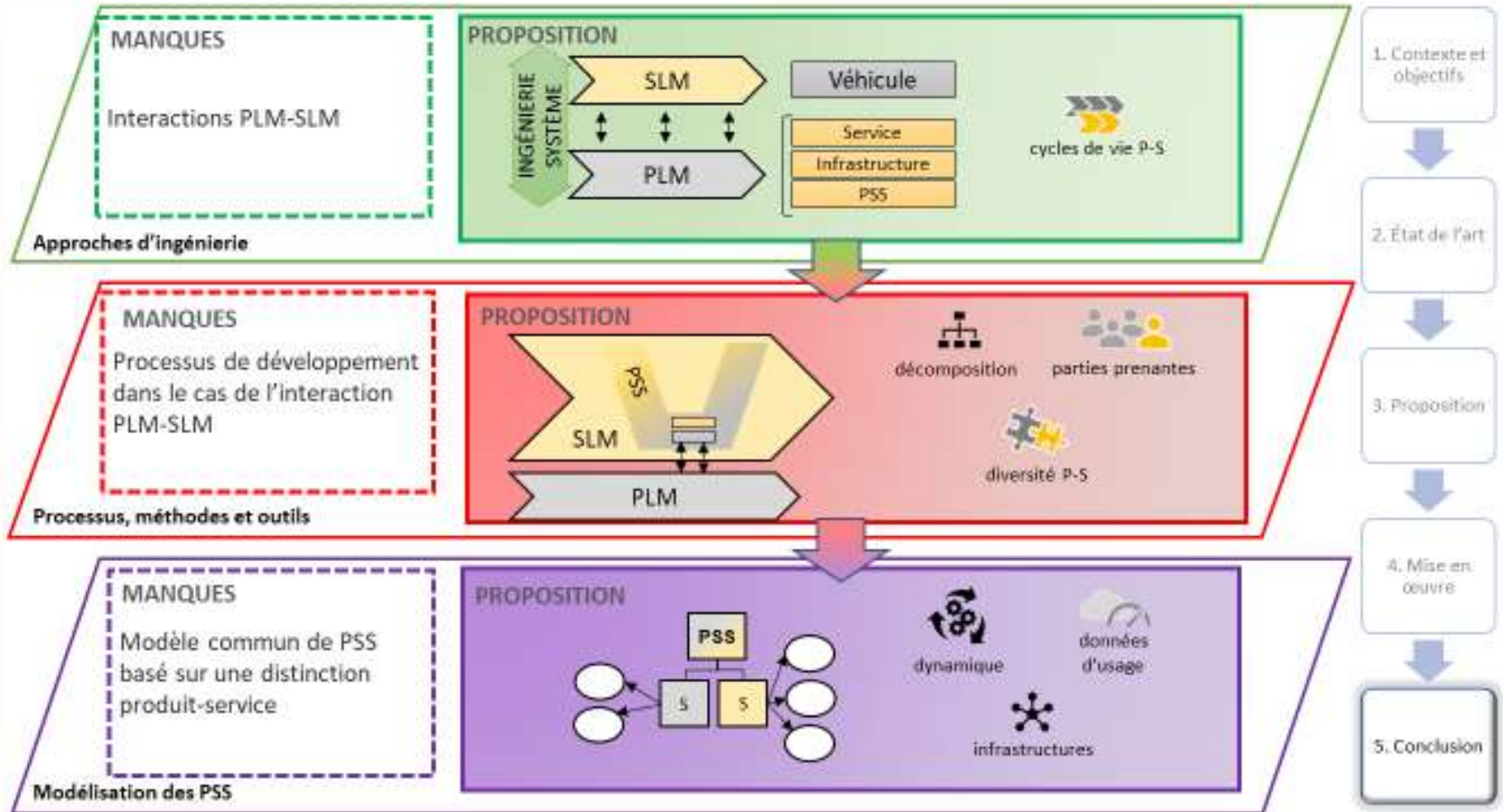


Conclusion



Problématique Supporter l'ingénierie des PSS automobiles en prenant en considération la gestion de leur diversité

-  cycles de vie P-S
-  décomposition
-  diversité P-S
-  dynamique
-  infrastructures
-  parties prenantes
-  données d'usage



Deux cas d'étude permettent de mettre en œuvre la proposition

Cas d'étude 1



Validation effectuée

- Association de modèles de données PLM et SLM
- Décomposition du PSS en sous-systèmes produits et services
- Exploitation de la diversité produit



Poursuite de la validation

- Utilisation de la modélisation PSS pour les différents services d'E&R
- Intégration de l'outil dans le Système de Management de la Qualité

Cas d'étude 2



- Définition du PSS en architectures fonctionnelles et structurelles
- Description et association de diversité P et S
- Définition de sous-services données d'usage



1. Contexte et objectifs

2. État de l'art

3. Proposition

4. Mise en œuvre

5. Conclusion

Limites des travaux

Exploitation des données d'usage pour améliorer les phases de conception

Description et association de la diversité implique un grand nombre de combinatoire et un impact sur la chaîne de valeur du PSS

Intégration des sous-services de science de données dans un contexte Big Data (Volume, Vitesse, Variété, Valeur, Vérité)

Proposition mise en œuvre à une échelle restreinte

Cadre spécifique au contexte des PSS automobiles

Perspectives de recherche

Comment associer les données issues de l'usage des produits à des connaissances réutilisés pour la conception des véhicules ?
Comment les modèles de PSS permettent de structurer ces informations ?

Quelles démarches et méthodes appliquer pour maîtriser la diversité produit-service et optimiser la conception et la production / l'implémentation des PSS ?

Identifier des typologies de services de gestion des données d'usage : récupération, traitement et utilisation des données

Se rapprocher de la mise en œuvre de la proposition à échelle réelle

- Conception d'un cas réel de PSS
- Conception de composants de produits, service et infrastructures
- Utilisation d'outils informatiques de nature PDM

Généraliser la proposition à d'autres domaines industriels et autres typologies de services

1. Contexte et objectifs

2. État de l'art

3. Proposition

4. Mise en œuvre

5. Conclusion

Merci de votre attention