



HAL
open science

Aide à la décision pour la servicisation des PME industrielles : une approche par modélisation et simulation

Malik-Eddine Chalal

► **To cite this version:**

Malik-Eddine Chalal. Aide à la décision pour la servicisation des PME industrielles : une approche par modélisation et simulation. Autre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2014. Français. NNT : 2014EMSE0754 . tel-01132699

HAL Id: tel-01132699

<https://theses.hal.science/tel-01132699>

Submitted on 17 Mar 2015

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.



NNT : 2014 EMSE 0754

THÈSE

présentée par

Malik Eddine CHALAL

pour obtenir le grade de
Docteur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

Spécialité : Génie Industriel

Aide à la décision pour la servicisation des PME industrielles: une
approche par modélisation et simulation

soutenue à Saint-Etienne le 3 octobre 2014

Membres du jury

| | | |
|----------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|
| Président : | Jean Luc PARIS | Professeur, IFMA, Clermont-Ferrand |
| Rapporteurs : | Peggy ZWOLINSKI | Professeur, INPG, Grenoble |
| | Yacine OUZROUT | HDR, IUT Lumière Lyon II, Lyon |
| Examineur(s) : | Jacques LAMOTHE | Professeur, Ecole des Mines, Albi |
| Directeur de thèse : | Xavier BOUCHER | Professeur, Ecole des Mines, Saint-Etienne |
| Co-encadrants: | Marie Agnès GIRARD | Maitre-assistant, Ecole des Mines, Saint Etienne |
| | Guillaume MARQUES | Docteur en Génie Industriel, CHU Toulouse, Toulouse |

Spécialités doctorales :
 SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX
 MECANIQUE ET INGENIERIE
 GENIE DES PROCÉDES
 SCIENCES DE LA TERRE
 SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT
 MATHEMATIQUES APPLIQUEES
 INFORMATIQUE
 IMAGE, VISION, SIGNAL
 GENIE INDUSTRIEL
 MICROELECTRONIQUE

Responsables :
 K. Wolski Directeur de recherche
 S. Drapier, professeur
 F. Gruy, Maître de recherche
 B. Guy, Directeur de recherche
 D. Graillet, Directeur de recherche
 O. Roustant, Maître-assistant
 O. Boissier, Professeur
 JC. Pinoli, Professeur
 A. Dolgui, Professeur
 S. Dauzere Peres, Professeur

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

| | | | | |
|--------------------|--------------|---------|--------------------------------------|-------|
| ABSI | Nabil | CR | | CMP |
| AVRIL | Stéphane | PR2 | Mécanique et ingénierie | CIS |
| BATTON-HUBERT | Mireille | PR2 | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| BERGER DOUCE | Sandrine | PR2 | | FAYOL |
| BERNACHE-ASSOLLANT | Didier | PR0 | Génie des Procédés | CIS |
| BIGOT | Jean Pierre | MR(DR2) | Génie des Procédés | SPIN |
| BILAL | Essaid | DR | Sciences de la Terre | SPIN |
| BOISSIER | Olivier | PR1 | Informatique | FAYOL |
| BORBELY | Andras | MR(DR2) | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| BOUCHER | Xavier | PR2 | Génie Industriel | FAYOL |
| BRODHAG | Christian | DR | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| BURLAT | Patrick | PR2 | Génie Industriel | FAYOL |
| COURNIL | Michel | PR0 | Génie des Procédés | DIR |
| DARRIEULAT | Michel | IGM | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| DAUZERE-PERES | Stéphane | PR1 | Génie Industriel | CMP |
| DEBAYLE | Johan | CR | Image Vision Signal | CIS |
| DELAFOSSÉ | David | PR1 | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| DESRAYAUD | Christophe | PR2 | Mécanique et ingénierie | SMS |
| DOLGUI | Alexandre | PR0 | Génie Industriel | FAYOL |
| DRAPIER | Sylvain | PR1 | Mécanique et ingénierie | SMS |
| FEILLET | Dominique | PR2 | Génie Industriel | CMP |
| FRACZKIEWICZ | Anna | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| GARCIA | Daniel | MR(DR2) | Génie des Procédés | SPIN |
| GERINGER | Jean | MA(MDC) | Sciences et génie des matériaux | CIS |
| GOEURIOT | Dominique | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| GRAILLOT | Didier | DR | Sciences et génie de l'environnement | SPIN |
| GROSSEAU | Philippe | DR | Génie des Procédés | SPIN |
| GRUY | Frédéric | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| GUY | Bernard | DR | Sciences de la Terre | SPIN |
| HAN | Woo-Suck | CR | Mécanique et ingénierie | SMS |
| HERRI | Jean Michel | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| KERMOUCHE | Guillaume | PR2 | Mécanique et Ingénierie | SMS |
| KLOCKER | Helmut | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| LAFOREST | Valérie | MR(DR2) | Sciences et génie de l'environnement | FAYOL |
| LERICHE | Rodolphe | CR | Mécanique et ingénierie | FAYOL |
| LI | Jean-Michel | | | CMP |
| MALLIARAS | Georges | PR1 | Microélectronique | CMP |
| MOLIMARD | Jérôme | PR2 | Mécanique et ingénierie | CIS |
| MONTHEILLET | Frank | DR | | SMS |
| MOUTTE | Jacques | CR | | SPIN |
| NIKOLOVSKI | Jean-Pierre | | | CMP |
| PIJOLAT | Christophe | PR0 | Génie des Procédés | SPIN |
| PIJOLAT | Michèle | PR1 | Génie des Procédés | SPIN |
| PINOLI | Jean Charles | PR0 | Image Vision Signal | CIS |
| POURCHEZ | Jérémy | CR | Génie des Procédés | CIS |
| ROBISSON | Bruno | | | CMP |
| ROUSSY | Agnès | MA(MDC) | | CMP |
| ROUSTANT | Olivier | MA(MDC) | | FAYOL |
| ROUX | Christian | PR | | CIS |
| STOLARZ | Jacques | CR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| TRIA | Assia | | Microélectronique | CMP |
| VALDIVIESO | François | MA(MDC) | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| VIRICELLE | Jean Paul | MR(DR2) | Génie des Procédés | SPIN |
| WOLSKI | Krzysztof | DR | Sciences et génie des matériaux | SMS |
| XIE | Xiaolan | PR1 | Génie industriel | CIS |
| YUGMA | Gallian | CR | | CMP |

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

| | | | | |
|-----------|-------------|------------------------|---------------------------------|-------|
| BERGHEAU | Jean-Michel | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| BERTRAND | Philippe | MCF | Génie des procédés | ENISE |
| DUBUJET | Philippe | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| FEULVARCH | Eric | MCF | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| FORTUNIER | Roland | PR | Sciences et Génie des matériaux | ENISE |
| GUSSAROV | Andrey | Enseignant contractuel | Génie des procédés | ENISE |
| HAMDI | Hédi | MCF | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| LYONNET | Patrick | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| RECH | Joël | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| SMUROV | Igor | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| TOSCANO | Rosario | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |
| ZAHOUANI | Hassan | PU | Mécanique et Ingénierie | ENISE |

| | | | |
|----------|------------------------------------|----------|-----------------------------|
| PR 0 | Professeur classe exceptionnelle | Ing. | Ingénieur |
| PR 1 | Professeur 1 ^{ère} classe | MCF | Maître de conférences |
| PR 2 | Professeur 2 ^{ème} classe | MR (DR2) | Maître de recherche |
| PU | Professeur des Universités | CR | Chargé de recherche |
| MA (MDC) | Maître assistant | EC | Enseignant-chercheur |
| DR | Directeur de recherche | IGM | Ingénieur général des mines |

| | |
|-------|------------------------------------------------|
| SMS | Sciences des Matériaux et des Structures |
| SPIN | Sciences des Processus Industriels et Naturels |
| FAYOL | Institut Henri Fayol |
| CMP | Centre de Microélectronique de Provence |
| CIS | Centre Ingénierie et Santé |

Dédicaces

À la mémoire de mon père qui m'a inculqué la persévérance et le courage de ne pas laisser tomber devant les difficultés. A toi, père, qui me disait : « Mon fils, il n'y a qu'une seule richesse qui vaille, c'est celle de ton esprit. Il n'y a qu'une seule faim, une seule soif qu'il faut absolument assouvir, c'est celle de la connaissance, celle de ta curiosité par rapport à la vie et tes questions par rapport au sens de ce que tu fais. Ne te préoccupe pas des dires des gens, à défaut qu'ils soient dans l'action ou dans le verbe, ils se tournent alors à chercher un sujet. Toi, mon fils, contente toi d'être dans le verbe ».

À ma mère, pour son courage et ses sacrifices.

Je dédie ce travail. Je vous aime.

Remerciements

Les années que j'ai vécues à Saint Etienne ont été riches au niveau personnel et professionnel. Elles m'ont fait découvrir le métier de chercheur. Un métier que ma tutrice de stage de master M^{me} Maria Di Mascolo m'a donné envie d'explorer d'avantage vu l'excellence de son encadrement, humainement et scientifiquement. Je lui dois mes remerciements et ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier, tout d'abord, les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter l'évaluation de mon travail. Je remercie en premier lieu le Professeurs Peggy ZWOLONSKI et le Directeur de l'IUT Lyon 2 Yacine OUZROUT d'avoir accepté d'être rapporteurs de ma thèse et de prendre de leurs temps pour la lire avec soin. Je les remercie également pour leurs retours et remarques constructifs qui ont permis d'étoffer mes réflexions sur ma problématique et mon apprentissage de la recherche. Je remercie le Professeur Jean-Luc PARIS pour avoir présidé ma soutenance de thèse et le Professeur Jacques LAMOTHE pour avoir accepté d'être examinateur.

Je remercie mon directeur de thèse Xavier BOUCHER pour la confiance qu'il m'a accordé. Je le remercie également de m'avoir impliqué dans ce projet de construction d'une nouvelle thématique de recherche dans le laboratoire. J'ai appris à travers ce projet énormément sur les aspects relationnels et scientifiques.

Je remercie également Marie Agnès GIRARD, pour sa disponibilité, son implication avec énergie et son apport pour l'aboutissement de ce projet. Je remercie grandement Guillaume MARQUES pour avoir accepté d'intégrer le projet. Son implication et son approche positive ont énormément apporté aux réflexions faites sur le projet et ont permis l'amélioration de la qualité du travail. Je tiens à souligner également ses qualités humaines qui m'ont beaucoup inspiré.

Je remercie également Monsieur GAYET Pierre-Gilles, directeur de l'entreprise Envie Loire et l'ensemble du personnel pour leur implication dans ce projet.

Je remercie l'équipe PIESO pour les échanges scientifiques que nous avons eus pendant les réunions. Merci aux membres de DEMO et ISCOD pour les moments agréables que nous avons eus pendant les pauses café. Merci à Gabrielle, Zahia, Alain et JF pour leurs sollicitudes et disponibilités.

De mon passage à St-Étienne, je retiendrai également les belles rencontres que j'ai faites. Je pense notamment à la famille Yaich, Sonia, Baby, Anne, Ouss, Hamid, Lounes, Audrey, Rabah, Nacer, Kamel, Sophie, Sarra, Lyes, Arnaud, Guillaume, Lucile, Asma, Rémi...Mes amis de Béjaia, Alger, Grenoble et Paris. Un merci également à l'équipe de foot7 de l'école des mines.

Je remercie grandement Dounia, Anne, Audrey, Sophie, Baby et Sonia d'avoir corrigé ma thèse.

Je ne remercierai jamais assez ma mère, mes sœurs Amel et Nedjma et mes frères Kamel et Djamel qui m'ont soutenu et cru en moi. Cette thèse a été également fructueuse au niveau familial avec la venue de mes deux nièces Sérine et Nélia et mes deux neveux Aksil et Anis. Je vous aime mes loulous.

SOMMAIRE

Partie 1 : Contexte et état de l'art

Chapitre 1 : Introduction et problématique scientifique

| | | |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Contexte industriel et économique de la thèse | 3 |
| 2 | L'émergence des services | 4 |
| 2.1 | Le Service, d'un centre de coût vers un centre de profit | 4 |
| 2.2 | Le service, un enjeu pour l'industrie du produit | 6 |
| 3 | Contexte scientifique de la thèse..... | 7 |
| 4 | Verrous scientifiques de la thèse..... | 11 |
| 4.1 | Quelle approche d'aide à la décision dans le cas d'une transition vers une offre PSS ?.. | 12 |
| 4.2 | Quelle aide à la décision lors d'une transition vers une offre PSS ?..... | 13 |
| 5 | Démarche de recherche et organisation du manuscrit | 14 |
| 6 | Conclusion | 16 |

Chapitre 2 : Servicisation: problématique de transition vers une offre PSS

| | | |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Introduction..... | 19 |
| 2 | Le service et la prestation de service | 19 |
| 3 | Le service dans la recherche académique | 21 |
| 4 | L'économie de fonctionnalité : un cadre économique lié à l'émergence des services..... | 22 |
| 5 | Système Produit-Service..... | 23 |
| 5.1 | Emergence et définition des PSS..... | 23 |
| 5.2 | Types de PSS | 24 |
| 5.3 | PSS dans la pratique | 25 |
| 6 | Economie de fonctionnalité, PSS et développement durable | 26 |
| 7 | La Servicisation..... | 27 |
| 7.1 | Les différentes visions de la servicisation..... | 27 |
| 7.2 | Le processus de servicisation | 29 |
| 8 | Problématiques liées à la servicisation..... | 32 |

| | | |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 8.1 | Problématiques de transition selon Martinez | 32 |
| 9 | Conclusion : positionnement par rapport aux différents concepts | 34 |

Chapitre 3 : Etat de l'art en modélisation, simulation et aide à la décision

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Introduction..... | 35 |
| 2 | Démarche générique de modélisation et simulation pour l'aide à la décision..... | 36 |
| 2.1 | Modèle : représentation plus ou moins conforme de la réalité..... | 36 |
| 2.2 | De la réalité au modèle: nécessité d'une démarche de modélisation et simulation | 37 |
| 2.2.1 | Le modèle comme support de description de la réalité - Fonction de représentation - 38 | |
| 2.2.2 | Le modèle comme moyen d'étude de la réalité - Fonction de simulation -..... | 40 |
| 2.3 | De la modélisation à la simulation : nécessité de la validation..... | 41 |
| 2.4 | Démarche de modélisation et de simulation | 42 |
| 3 | Modélisation d'entreprise..... | 47 |
| 3.1 | Introduction..... | 47 |
| 3.2 | Méthodes de modélisation d'entreprise..... | 47 |
| 3.2.1 | Intégration DEFinition (IDEF) | 50 |
| 3.2.2 | Graphes à Résultats et Activités Inter reliés (GRAI) | 50 |
| 3.2.3 | Business Process Modelling and Notations (BPMN) | 51 |
| 3.2.4 | Unified Entereprise Modelling Language (UEML)..... | 51 |
| 3.3 | Conclusion..... | 52 |
| 4 | Modélisation et simulation dans le contexte PSS | 53 |
| 4.1 | Les modèles conceptuels dans le contexte PSS..... | 53 |
| 4.1.1 | Vue ontologique des PSS | 53 |
| 4.1.2 | Modélisation axée sur le Service..... | 55 |
| 4.1.3 | Modélisation axée sur le cycle de vie | 57 |
| 4.1.4 | Conclusion sur les modèles conceptuels proposées dans la littérature sur le contexte PSS | 60 |
| 4.2 | Les modèles de simulation dans le contexte PSS..... | 61 |
| 4.2.1 | Simulation à évènements discrets..... | 61 |
| 4.2.2 | Simulation basée sur la dynamique des systèmes..... | 62 |
| 4.2.3 | Simulation basée sur les agents..... | 63 |
| 4.3 | Conclusion sur les modèles et approches de simulation dans le contexte PSS | 63 |
| 5 | Problématique de gestion des capacités..... | 64 |

| | | |
|---|------------------|----|
| 6 | Conclusion | 65 |
|---|------------------|----|

Partie 2 : Propositions conceptuels

Chapitre 4 : Proposition d'une démarche de modélisation et de simulation adaptée aux systèmes de production orientés services

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Introduction..... | 69 |
| 2 | Démarche de modélisation proposée..... | 70 |
| 2.1 | Vue globale de la démarche..... | 70 |
| 2.2 | Processus de contextualisation | 72 |
| 3 | Description de la démarche | 73 |
| 3.1 | Spécification et construction des modèles conceptuels | 73 |
| 3.1.1 | Définition et spécification du cadre de conceptualisation..... | 74 |
| 3.1.2 | Modèle conceptuel du système d'usage..... | 74 |
| 3.1.3 | Modèle conceptuel du système productif | 76 |
| 3.2 | Construction des modèles de simulation | 77 |
| 3.2.1 | Définition et spécification du cadre d'expérimentation..... | 77 |
| 3.2.2 | Construction du modèle de simulation et instanciation de l'étude de cas | 78 |
| 3.3 | Analyse et interprétation des résultats | 78 |
| 4 | Conclusion | 79 |

Chapitre 5 : Spécification du modèle conceptuel du système d'usage

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Introduction..... | 81 |
| 2 | Etat de l'art sur la notion du « système d'usage »..... | 81 |
| 2.1 | La notion d' « usage »..... | 81 |
| 2.2 | L'utilisateur face à l'offre commerciale..... | 82 |
| 2.3 | L'utilisateur face à son utilisation effective du PSS | 83 |
| 3 | Spécification du modèle conceptuel du système d'usage | 84 |
| 4 | Formalisation des comportements commerciaux | 86 |
| 4.1 | Marché global..... | 87 |
| 4.2 | Offre contrat PSS et Offre contrat Vente..... | 88 |
| 4.2.1 | Offre de contrat PSS..... | 88 |
| 4.2.2 | Offre de contrat Vente | 89 |

| | | |
|-----|-----------------------------------------------|----|
| 4.3 | Profil commercial des clients PSS | 89 |
| 4.4 | Processus de décision commerciale PSS | 90 |
| 5 | Formalisation des comportements d'usage | 91 |
| 5.1 | Processus d'usage..... | 92 |
| 5.2 | Profils d'Usage | 92 |
| 5.3 | Caractéristiques du produit | 93 |
| 6 | Conclusion | 94 |

Chapitre 6 : Spécification du modèle conceptuel du système productif

| | | |
|-----|--------------------------------------------------------|-----|
| 1 | Introduction..... | 95 |
| 2 | Le modèle conceptuel du système de fabrication..... | 96 |
| 2.1 | Introduction..... | 96 |
| 2.2 | Eléments d'un processus de fabrication..... | 96 |
| 2.3 | Modèle conceptuel proposé | 98 |
| 3 | Le modèle conceptuel du système de revalorisation..... | 99 |
| 3.1 | Introduction..... | 99 |
| 3.2 | Eléments d'un processus de revalorisation..... | 100 |
| 3.3 | Modèle conceptuel proposé | 101 |
| 4 | Le modèle conceptuel du système de servuction | 102 |
| 4.1 | Introduction..... | 102 |
| 4.2 | Eléments d'un processus de servuction | 103 |
| 4.3 | Modèle conceptuel proposé | 104 |
| 5 | Conclusion | 106 |

Partie 3 : Application de la démarche de modélisation et de simulation sur une étude de cas

Chapitre 7 : Présentation de l'étude de cas et instanciation du modèle

| | | |
|-----|---------------------------------------------------|-----|
| 1 | Introduction..... | 109 |
| 2 | Description du cas ENVIE | 109 |
| 2.1 | L'entreprise ENVIE..... | 109 |
| 2.2 | Une volonté de changement | 112 |
| 2.3 | La transition vers une offre PSS pour ENVIE | 113 |

| | | |
|-------|-----------------------------------------------------------|-----|
| 2.4 | Pertinence de l'étude du cas ENVIE..... | 114 |
| 3 | Instanciation du système d'usage pour le cas ENVIE | 114 |
| 3.1 | Sous-système commercial..... | 115 |
| 3.1.1 | Le marché global qui s'adresse à ENVIE..... | 115 |
| 3.1.2 | Les Produits | 115 |
| 3.1.3 | Offre de contrats | 116 |
| 3.1.4 | Profil commercial | 117 |
| 3.1.5 | Processus de décision commerciale..... | 117 |
| 3.2 | Sous-système d'Usage | 117 |
| 3.2.1 | Caractéristiques des usagers..... | 117 |
| 3.2.2 | Caractéristiques des produits | 118 |
| 3.2.3 | Processus d'usage | 119 |
| 4 | Instanciation du système productif pour le cas ENVIE..... | 121 |
| 4.1 | Les processus de fabrication | 121 |
| 4.2 | Les processus de remanufacturing..... | 122 |
| 4.3 | Les processus de réalisation de service..... | 123 |
| 4.4 | Les processus de planification | 124 |
| 5 | Conclusion | 126 |

Chapitre 8 : Aide à la décision, analyse et interprétation des résultats

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1 | Introduction..... | 127 |
| 2 | Construction et validation du modèle de simulation | 128 |
| 2.1 | Les besoins du simulateur | 128 |
| 2.2 | Validation du simulateur..... | 129 |
| 3 | Construction du plan d'expérimentation..... | 133 |
| 3.1 | Facteurs de décision | 134 |
| 3.1.1 | Degrés de flexibilité en compétence disponible | 134 |
| 3.1.2 | La règle d'affectation des ressources | 135 |
| 3.1.3 | L'offre PSS globale..... | 135 |
| 3.2 | Facteurs d'incertitudes | 135 |
| 3.2.1 | Répartition de la clientèle selon l'Exigence Qualité du service/Qualité du produit 136 | |
| 3.2.2 | Répartition de la clientèle selon la Sensibilité pour la Qualité de service..... | 136 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.3 | Répartition de la clientèle selon le Profil d'usage..... | 137 |
| 3.3 | Indicateurs de performance..... | 137 |
| 3.4 | Mise en œuvre du plan d'expérimentation..... | 139 |
| 4 | Analyse et Interprétation des résultats..... | 140 |
| 4.1 | Démarche d'analyse..... | 140 |
| 4.2 | Analyse de l'impact des leviers de décision et de l'interaction SU-SP..... | 141 |
| 4.2.1 | Cercle de corrélation..... | 142 |
| 4.2.2 | Le plan factoriel..... | 144 |
| 4.3 | <i>Etude de la robustesse des configurations face à l'incertain</i> | 154 |
| 4.3.1 | Sélection des configurations résilientes..... | 155 |
| 4.3.2 | Classification des configurations résilientes, en environnement incertain non probabiliste..... | 159 |
| 5 | Conclusion..... | 163 |

Chapitre 9 : Conclusion générale et perspectives

| | | |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1 | Contexte global..... | 165 |
| 2 | Apport de l'approche par modélisation et simulation pour l'accompagnement des industriels lors du processus de servicisation..... | 166 |
| 2.1 | Apports et conclusions académiques..... | 167 |
| 2.2 | Conclusions et implications managériales pour l'entreprise..... | 167 |
| 3 | Perspectives..... | 169 |
| 3.1 | Au niveau du cadre d'analyse et d'évaluation..... | 169 |
| 3.2 | Au niveau du modèle de simulation..... | 170 |
| 3.3 | Au niveau des modèles conceptuels..... | 170 |

Publications & Bibliographie

| | | |
|---|--------------------|-----|
| 1 | Publications..... | 173 |
| 2 | Bibliographie..... | 174 |

Annexe 1: Description des processus du simulateur

| | | |
|-----|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 1 | Notions de base de la simulation sur le logiciel SIMAN-ARENA..... | 186 |
| 1.1 | Présentation du logiciel SIMAN-ARENA..... | 186 |

| | | |
|------|-------------------------------------------------|-----|
| 1.2 | Structure d'un modèle SIMAN-ARENA :..... | 186 |
| 1.3 | Transfert des entités :..... | 186 |
| 2 | Mise en œuvre du processus de simulation :..... | 187 |
| 3 | Description des différents processus | 189 |
| 3.1 | Processus de réception et de collecte..... | 189 |
| 3.2 | Processus de lancement: | 189 |
| 3.3 | Processus de Production/Désassemblage | 193 |
| 3.4 | Processus de cession de produit :..... | 193 |
| 3.5 | Processus de comportement commercial : | 194 |
| 3.6 | Processus de livraison | 194 |
| 3.7 | Processus d'intervention maintenance : | 195 |
| 3.8 | Processus maintenance préventive..... | 197 |
| 3.9 | Processus de tri | 197 |
| 3.10 | Processus paiements..... | 199 |

Annexe 2: Modèle de processus de planification

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1 | Demande en produit dans le cas de la vente et dans le cas PSS..... | 200 |
| 1.1 | Eclatement de la demande globale sur les deux marchés PSS et NPSS | 200 |
| 2 | Demande dans le cas vente classique (NPSS)..... | 200 |
| 3 | Demande dans le cas contrats PSS :..... | 201 |
| 4 | Exemple numérique :..... | 201 |
| 4.1 | Hypothèses : | 201 |
| 4.2 | Calcul des Ordres de Fabrication PF1 :..... | 202 |
| 4.3 | Calcul des Ordres de Fabrication pour PF2 :..... | 203 |
| 4.3.1 | Les quantités de produits collectées et récupérées | 203 |
| 4.3.2 | Calcul des ordres de fabrication PF2..... | 204 |
| 4.4 | Calcul des Ordres de désassemblage : | 205 |

Annexe 2: Résultats bruts des simulations

| | | |
|---|----------------------------------------------------------|-----|
| 1 | Description des résultats..... | 207 |
| 2 | Types de configuration :..... | 209 |
| 3 | Tableaux récapitulatifs des résultats bruts obtenus..... | 209 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 Evolution des emplois / secteur d'activité en France..... | 5 |
| Figure 2 Cadre de recherche dans le management des opérations de service (Roth & Menor 2003) | 10 |
| Figure 3 Architecture pour les systèmes de production de service (Roth & Menor 2003) | 10 |
| Figure 4 Problématique d'aide à la décision..... | 14 |
| Figure 5 Démarche de recherche..... | 14 |
| Figure 6 Organisation du document..... | 16 |
| Figure 7 différents types PSS adapté de (Tukker 2004) | 25 |
| Figure 8 La Servicisation adaptée de (Merelli 2003) | 28 |
| Figure 9 Processus de servicisation (Vandermerwe & Rada 1988). | 31 |
| Figure 10 Modèle de servicisation CSS (Grönroos 2007)..... | 31 |
| Figure 11 Modèle de servicisation CSS détaillé (Grönroos 2007) | 32 |
| Figure 12 Différentes problématique lors de la servicisation, figure adaptée de (Martinez et al. 2010)..... | 32 |
| Figure 13 Différents types de modèles (Geoffrey 1978)..... | 37 |
| Figure 14 Démarche globale de modélisation et simulation d'après (Frantz 1995)..... | 42 |
| Figure 15 Les entités d'une démarche de modélisation et simulation d'après (Zeigler & al. 2000) | 43 |
| Figure 16 Démarche de modélisation et de simulation d'après (Marques 2010) | 44 |
| Figure 17 Démarche de modélisation et simulation d'après (Shannon 1975) | 45 |
| Figure 18 Démarche de modélisation et de simulation d'après (Banks et al 1996) | 46 |
| Figure 19 Les différentes vues d'entreprises (Vernadat 1999) | 48 |
| Figure 20 Classification des méthodes de modélisation adaptée de (Shen et al. 2004)..... | 49 |
| Figure 21 description de l'activité dans la méthode IDEF0..... | 50 |
| Figure 22 Le modèle conceptuel d'un centre de décision GRAI | 51 |
| Figure 23 Objets et notations utilisés pour la modélisation BPMN (Chinosi & Trombetta 2012)..... | 51 |
| Figure 24 Concepts et objets de base pour la modélisation UEML (Vernadat 2002)..... | 52 |
| Figure 25 Concepts et objets pour décrire le concept PSS (Gokula et al. 2010)..... | 54 |
| Figure 26 Product service Ontologie d'après (Shen & Wang 2007) | 54 |
| Figure 27 Ontologie basée sur la valeur de service (Kim et al. 2009) | 55 |
| Figure 28 Méthode blueprin (Kingman-Brundage 1989)..... | 56 |
| Figure 29 Modèle conceptuel PSS (Mien et al. 2005) | 58 |
| Figure 30 Modèle de service basée sur les objets(Aurich et al. 2006) | 58 |
| Figure 31 Modèle conceptuel de la logistique en boucle fermée (Hu et al. 2007) | 58 |
| Figure 32 Cycle de vie de service (Yang et al. 2010) | 59 |
| Figure 33 Modèle conceptuel PSS proposé par (Pingl & Jia 2010) | 59 |
| Figure 34 Modèle de chaîne logistique PSS (Wangphanich 2011)..... | 60 |
| Figure 35 Modèle PSS basé sur le cycle de vie du produit et le cycle de vie de la relation client (Tan et al. 2006) | 60 |
| Figure 36 Principe de fonctionnement de la simulation à évènements discrets (Thierry et al. 2008). | 62 |
| Figure 37 Modèle conceptuel du système entreprise orienté PSS | 70 |
| Figure 38 Démarche de modélisation et d'aide à la décision..... | 72 |
| Figure 39 Processus de contextualisation..... | 73 |
| Figure 40 Etapes de spécification et construction des modèles conceptuels | 74 |
| Figure 41 Eléments constituant le modèle du sous-système commercial..... | 75 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 42 Elements constituant le modèle du sous-système d'usage..... | 76 |
| Figure 43 Modèle conceptuel du système productif proposé | 77 |
| Figure 44 Etapes de construction des modèles de simulation | 77 |
| Figure 45 Modèle conceptuel du système d'usage proposé..... | 85 |
| Figure 46 Modèle SADT du système d'usage proposé | 86 |
| Figure 47 Modèle SADT du système des comportements commerciaux..... | 87 |
| Figure 48 Modèle SADT du système des comportements d'usage..... | 91 |
| Figure 49 Composition d'un système de production (Habchi 2001)..... | 97 |
| Figure 50 Modèle conceptuel du système de fabrication proposé | 98 |
| Figure 51 Schéma conceptuel caractérisant la réalisation d'un produit | 99 |
| Figure 52 Flux des matériaux pour la valorisation des produits usagés (Lund 1996)..... | 100 |
| Figure 53 Etapes du processus de remanufacturing (Sundin 2004) | 101 |
| Figure 54 Modèle conceptuel du système de remanufacturing..... | 102 |
| Figure 55 Le système de servuction (Eiglier & Langeard 1987) | 103 |
| Figure 56 Modèle de réalisation d'un service (Bullinger et al. 2003)..... | 104 |
| Figure 57 Modèle conceptuel du système de servuction proposé..... | 106 |
| Figure 58 Flux de produits dans le cas de la vente..... | 111 |
| Figure 59 Flux de produits dans le cas PSS..... | 112 |
| Figure 60 Nomenclature de Produit « lave-linge »..... | 115 |
| Figure 61 Courbe de fiabilité Lave-Linge TP1 | 119 |
| Figure 62 Processus d'utilisation du produit..... | 119 |
| Figure 63 Processus de panne modélisé | 120 |
| Figure 64 Processus de fabrication..... | 122 |
| Figure 65 Processus de désassemblage | 123 |
| Figure 66 Les différents processus de service..... | 124 |
| Figure 67 Processus de gestion de la fabrication..... | 125 |
| Figure 68 Processus de gestion de remanufacturing..... | 125 |
| Figure 69 Démarche de simulation..... | 140 |
| Figure 70 Cercle de corrélation | 143 |
| Figure 71 Plan factoriel axe1-axe2..... | 144 |
| Figure 72 Impact de la polyvalence sur la charge moyenne /compétence | 146 |
| Figure 73 Impact de la règle d'affectation sur la charge moyenne /compétence | 147 |
| Figure 74 Impact de la polyvalence sur la satisfaction service | 147 |
| Figure 75 Impact de la polyvalence sur la satisfaction des actes de vente (PSS)..... | 147 |
| Figure 76 Impact de la règle d'affectation sur la satisfaction service | 148 |
| Figure 77 Impact de la règle d'affectation sur la satisfaction des actes de vente (PSS)..... | 148 |
| Figure 78 Impact de l'Offre Globale sur la satisfaction service..... | 148 |
| Figure 79 Impact de l'Offre Globale sur la satisfaction des acte vente (PSS) | 148 |
| Figure 80 Stock Moyen PF1/PF2..... | 149 |
| Figure 81 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des actes de vente (PSS) pour la catégorie 2. | 151 |
| Figure 82 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des actes de vente (PSS) pour la catégorie 3. | 151 |
| Figure 83 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des actes de vente (PSS) pour la catégorie 4. | 152 |
| Figure 84 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des services vente (PSS) pour la catégorie 2. | 153 |
| Figure 85 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des services vente (PSS) pour la catégorie 3. | 153 |
| Figure 86 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des services vente (PSS) pour la catégorie 4. | 153 |
| Figure 87 Les différentes configurations du système étudié | 155 |
| Figure 88 Les différentes sources d'incertitudes du système étudié..... | 155 |
| Figure 89 Service Collecte..... | 157 |
| Figure 90 Service Intervention vente | 157 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 91 Service Livraison vente..... | 158 |
| Figure 92 Démarche de modélisation et de simulation appliquée à ENVIE Loire..... | 166 |
| Figure 93 l'articulation entre le système d'usage et le système productif | 188 |
| Figure 94 Processus de réception et de collecte | 191 |
| Figure 95 Processus de lancement..... | 192 |
| Figure 96 Processus de production (PF1 et PF2) | 193 |
| Figure 97 Processus de désassemblage | 193 |
| Figure 98 Processus de cessions de produit..... | 194 |
| Figure 99 Processus de comportement commercial..... | 194 |
| Figure 100 Processus de livraison dans le cas de la vente classique..... | 195 |
| Figure 101 Processus de livraison dans le cas d'offres de contrats PSS | 195 |
| Figure 102 Processus de maintenance dans le cas de la vente classique..... | 195 |
| Figure 103 Processus d'usage (utilisation du produit et génération de panne) dans le cas PSS..... | 196 |
| Figure 104 Processus maintenance curative dans le cas d'offres de contrats PSS..... | 197 |
| Figure 105 Processus de maintenance préventive..... | 197 |
| Figure 106 Processus de tri des produits collectés et récupérés | 198 |
| Figure 107 Processus de paiements | 199 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1 Comparaison entre le système de servuction et le système de production de bien tangible (Said 1989) | 8 |
| Tableau 2 Grandes idées de la recherche dans les opérations de service (Balin 2007). | 21 |
| Tableau 3 Différentes contributions sur la définition de la servicisation (Alvizos & Angelis 2010) | 29 |
| Tableau 4 Mapping entre la typologie d'abstraction de Zeigle et al et Frantz (Marquès 2010) | 40 |
| Tableau 5 Approche de modélisation d'entreprise adapté de (Ulmer 2011)..... | 49 |
| Tableau 6 Utilisation d'UML dans le cas PSS (Phumbua 2012) | 57 |
| Tableau 7 Cycle de vie PSS (Mont 2000)..... | 57 |
| Tableau 8 Récapitulatif des variables de description du marché PSS et NPSS | 88 |
| Tableau 9 Tableau récapitulatif des variables de description de l'offre PSS | 89 |
| Tableau 10 Répartition des profils commerciaux sur l'offre de contrat | 90 |
| Tableau 11 Tableau récapitulatif des variables de description du profil commercial des clients PSS | 91 |
| Tableau 12 Tableau récapitulatif des variables de description du profil d'usage des clients PSS et du profil technique des produits..... | 93 |
| Tableau 13 Options de récupération des produits (Krikke 1998) | 100 |
| Tableau 14 Liste de services utilisés dans la recherche (Baglin & Malleret 2004)..... | 105 |
| Tableau 15 Différents sites d'ENVIE LOIRE..... | 110 |
| Tableau 16 Macro familles et familles de produits d'ENVIE | 112 |
| Tableau 17 Offre de l'entreprise dans le cas de la vente | 116 |
| Tableau 18 Probabilités du comportement commercial (cas vente classique)..... | 117 |
| Tableau 19 Les variables d'usage ENVIE | 118 |
| Tableau 20 Profils d'usage | 118 |
| Tableau 21 Gamme de fabrication | 122 |
| Tableau 22 Gamme de remanufacturing | 123 |
| Tableau 23 Gamme de réalisation des services..... | 124 |
| Tableau 24 Exemple des probabilités de récupération selon l'âge et le profil d'usage du client | 126 |
| Tableau 25 Paramètres soumis à validation, sur les processus du système d'usage..... | 130 |
| Tableau 26 Paramètres soumis à validation, sur les processus du système fabrication..... | 131 |
| Tableau 27 Paramètres soumis à validation, sur les processus du système de servuction | 132 |
| Tableau 28 Degré de flexibilité en compétence..... | 135 |
| Tableau 29 Règles d'affectation des ressources | 135 |
| Tableau 30 Modalités pour le facteur Offre globale | 135 |
| Tableau 31 Profil commercial..... | 136 |
| Tableau 32 Exigences en qualité de service..... | 136 |
| Tableau 33 Profil d'usage | 137 |
| Tableau 34 Indicateurs de performance | 139 |
| Tableau 35 Description des différentes catégories..... | 145 |
| Tableau 36 description des différentes configurations..... | 156 |
| Tableau 37 Configurations résilientes | 158 |
| Tableau 38 Résultats d'analyse par le critère de Laplace | 160 |
| Tableau 39 Résultats d'analyse par le critère de Wald | 160 |
| Tableau 40 Résultats d'analyse par le critère de Maximax | 161 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 41 Résultats d'analyse par le critère de Savage..... | 161 |
| Tableau 42 Résultats récapitulatifs pour les différents critères | 162 |
| Tableau 43 Résultats d'analyse par le critère de Laplace | 162 |
| Tableau 44 Codage de la nomenclature du produit et les différentes stations | 189 |
| Tableau 45 Offre globale..... | 202 |
| Tableau 46 Profil commercial..... | 202 |
| Tableau 47 Niveau d'exigence en service | 202 |
| Tableau 48 Eclatement de la demande sur les marchés et produits considérés | 202 |
| Tableau 49 MRP simplifié pour les OF/semaine pour les niveaux intermédiaire de la nomenclature PF1. | 203 |
| Tableau 50 MRP simplifié pour les OF/semaine pour les composants de dernier niveau (ordres d'achats). | 203 |
| Tableau 51 Probabilités de récupération après désassemblage. | 203 |
| Tableau 52 Données sur la collecte | 204 |
| Tableau 53 Quantités de produit à remanufacturé (collecte + récupération en fin de contrat). | 204 |
| Tableau 54 MRP simplifié pour les OF/semaine pour les niveaux intermédiaire de la nomenclature PF2. | 204 |
| Tableau 55 MRP simplifié pour les OF/semaine pour les composants de dernier niveau PF2. | 205 |
| Tableau 56 Calcul des ordres de désassemblage..... | 206 |
| Tableau 57 Description des indicateurs de performance..... | 208 |
| Tableau 58 Description des différents scénarios de sources d'incertitude..... | 209 |
| Tableau 59 Configuration Spécialisation OG1 | 210 |
| Tableau 60 Configuration Poly1-Prod OG1..... | 211 |
| Tableau 61 Configuration Poly1-Serv OG1..... | 212 |
| Tableau 62 Configuration Poly2-Prod OG1 | 213 |
| Tableau 63 Configuration Poly2-Serv OG1..... | 215 |
| Tableau 64 Configuration Spécialisation OG2..... | 216 |
| Tableau 65 Configuration Poly1-Prod OG2..... | 217 |
| Tableau 66 Configuration Poly1-Serv OG2..... | 218 |
| Tableau 67 Configuration Poly2-Prod OG2..... | 219 |
| Tableau 68 Configuration Poly2-Serv OG2..... | 220 |
| Tableau 69 Configuration Spécialisation OG3..... | 221 |
| Tableau 70 Configuration Poly1-Prod OG3..... | 222 |
| Tableau 71 Configuration Poly1-Serv OG3..... | 224 |
| Tableau 72 Configuration Poly2-Prod OG3..... | 225 |
| Tableau 73 Configuration Poly2-Serv OG3..... | 226 |
| Tableau 74 Configuration Spécialisation OG4..... | 227 |
| Tableau 75 Configuration Poly1-Prod OG4..... | 228 |
| Tableau 76 Configuration Poly1-Serv OG2..... | 229 |
| Tableau 77 Configuration Poly2-Prod OG4..... | 230 |
| Tableau 78 Configuration Poly2-Serv OG4..... | 231 |

Partie 1 : Contexte et état de l'art

Chapitre 1

Introduction et problématique scientifique

1 Contexte industriel et économique de la thèse

L'évolution de l'environnement de l'entreprise est caractérisée par une concurrence accrue qui pousse les décideurs à s'inscrire dans une démarche constante d'innovation, et à chercher de nouveaux gisements d'avantages concurrentiels. Nous assistons ainsi à une mutation des pratiques de certaines entreprises industrielles. Celles-ci exigent de leurs fournisseurs une efficacité, une réactivité et une adaptabilité de plus en plus forte, passant petit à petit d'une sous-traitance de capacité à une sous-traitance de fonction (Chalal et al. 2012).

La place du client dans la chaîne de création de valeur, ces trente dernières années, n'a pas cessé d'évoluer. Elle a apporté des changements dans la façon d'appréhender la réponse aux besoins des clients de la part des entreprises. En effet, les nouvelles technologies d'information et de communication rendent les clients (consommateurs) de plus en plus exigeants et responsables; ainsi, la notion d'« offre de produit » a, de fait, laissé place à la recherche d'une « offre de solution(s) » de la part des clients. Dans le cas d'un client « entreprise », celui-ci a tendance à vouloir se concentrer sur son cœur de métier, et il cherche donc à externaliser le reste.

Par ailleurs, la valeur ajoutée et les marges dégagées par les opérations de fabrication ont tendance à se réduire au profit des opérations hors production, comme la conception des produits, la distribution, le service après-vente... En effet, la standardisation des produits et l'industrialisation des processus qui ont généré des baisses des coûts d'une part, et la concurrence de produits en provenance de pays à faibles coûts de main d'œuvre d'autre part, affaiblissent la position concurrentielle des entreprises de production de biens (Baglin & Melleret 2004).

Tous ces éléments induisent une réflexion continue sur le maintien de la pérennité de l'entreprise. A ce titre, le développement d'offres de services est souvent présenté comme une stratégie de différenciation (Malleret 2006). En effet, on constate que la croissance dans le secteur des services est plus importante que dans le secteur de la production de biens.

Au niveau du « business model » de l'entreprise, cela se traduit par un changement progressif du modèle économique de référence : on s'éloigne graduellement de l'économie transactionnelle traditionnelle, dont l'offre principale repose sur la vente de produits matériels vers une économie de moins en moins matérielle. Ce processus apparaît dans la littérature sous le concept de dématérialisation (Mont 2002) , ou de servicisation (Vandermerwe & Rada 1988). La constitution d'une offre d'un système « produits-services » est le résultat d'un processus de servicisation

(Baines et al. 2007). Ce concept de Product Service System (PSS) a été introduit par les travaux de recherche de (Goedkoop et al. 1999).

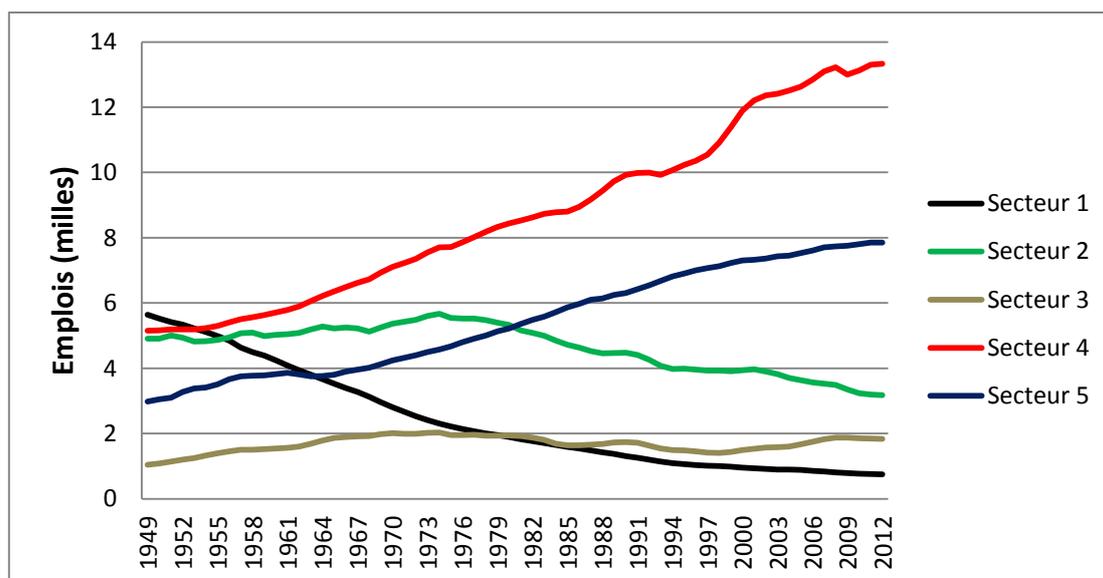
Ces nouveaux concepts s'inscrivent dans une économie dite de fonctionnalité (Stahel 1997) où la valeur d'usage du produit est mise en exergue. L'entreprise se tourne alors vers la vente d'une fonction (usage du produit) au lieu de vendre le produit. L'une des conséquences de ce modèle économique est le non transfert de propriété du produit vers le client, autrement dit, le produit reste à la propriété de l'entreprise (Baines et al. 2007). Dans ce contexte, la servicisation désigne une transition économique et organisationnelle qui consiste à répondre aux besoins des clients par des produits matériels auxquels sont couplées des prestations immatérielles sous forme de service(s), tout au long du cycle de vie.

2 L'émergence des services

2.1 Le Service, d'un centre de coût vers un centre de profit

L'ouvrage d'Adam SMITH, intitulé « Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations » a été l'un des ouvrages référence en théorie économique. Dans son ouvrage, l'auteur décortique les activités économiques, noyau central de la richesse des nations. Dans son analyse, à propos des activités de services, Adam Smith écrit : « ...Le travail de certains membres de la société appartenant aux ordres les plus respectables, tout aussi bien que le travail des serviteurs subalternes, est dépourvu de toute valeur ajoutée, et ne se transforme ou ne se réalise en aucun bien vendable qui demeure après accomplissement. Il faut ranger dans cette même catégorie à la fois certaines des professions les plus sérieuses et les plus importantes et certaines des plus frivoles : hommes d'église, avocats, médecins, hommes de lettres, joueurs, bouffons, musiciens, chanteurs d'opéra... ». Ainsi, les services, à cette époque, étaient considérés comme des activités sans valeur ajoutée et improductives. Nous étions dans un contexte socioéconomique post agricole où l'industrie et la production des marchandises étaient considérées comme des forces créatrices de richesse et de développement de la nation. On substitue ainsi à la force des bras (période agricole) des usines et des machines de productions (période industrielle). Le produit était au centre de l'activité industrielle et de la création de valeur et de profit, tandis que les activités de services étaient considérées comme génératrices de coûts supplémentaires pour l'entreprise, sans intérêt d'un point de vue micro-économique.

A partir de 1970, des sociologues ont décelé une tendance vers une nouvelle société appelée société postindustrielle (Bell 1976) et par extension, une économie postindustrielle (Cohen et al. 2006). Dans ce contexte, le secteur des services (souvent désignés par le vocable de secteur tertiaire) domine la sphère des affaires économiques.



| Secteur | Désignation |
|-----------|------------------------------------------------------------|
| Secteur 1 | Agriculture, sylviculture et pêche |
| Secteur 2 | Industrie manufacturière, industries extractives et autres |
| Secteur 3 | Construction |
| Secteur 4 | Services principalement marchands |
| Secteur 5 | Services principalement non marchands |

Figure 1 Evolution des emplois / secteur d'activité en France

Les emplois dans des activités de services ont eu une tendance croissante (Figure 1). Des auteurs ont cherché à comprendre et à donner les raisons de cette croissance des activités de services : des causes socio-économiques et technologiques reviennent le plus souvent pour expliquer cette croissance, telles que la mondialisation, le développement de l'économie et du commerce, le développement urbain, l'augmentation de l'efficacité et l'émergence de nouvelles technologies (Kotler 1967)(Darmon et al. 1990)(Lovelock et al. 2004). Selon (Wise & Baumgartner 1999), cette croissance s'explique par le fait que les services s'appliquent à l'ensemble des biens d'équipement déjà vendus (maintenance, mise à jour, etc.); la demande de services s'accroît donc, même si les ventes de biens diminuent (pour des raisons notamment économiques ou liées à la qualité des produits). La figure précédente montre le poids des services dans la société : aujourd'hui, plus de 75% des emplois en France sont enregistrés dans des activités de services ¹. Par ailleurs, (Giard 2005) identifie des raisons liées aux systèmes et processus productifs ou au changement comportemental des clients. Il explique ainsi la croissance de la demande de services par :

- la délocalisation de la production ;
- l'exploitation des technologies de l'information et de la communication ;
- l'association de nouveaux services à la vente ;
- une meilleure prise en compte de la satisfaction des clients.

¹ Source : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE)

Pour (Barcet & Bonamy 1988), l'accroissement de la demande en services est dû à trois mutations majeures, la mutation du rôle de la fonction commerciale qui exige une adaptation permanente aux changements et exigences du marché, la mutation du fonctionnement de la production dont une grande partie ne s'effectue pas au sein de l'entreprise (Conception, Recherche, Logistique...) et la mutation en termes de maîtrise des techniques d'information et de communication.

2.2 Le service, un enjeu pour l'industrie du produit

L'enjeu du maintien de la pérennité de l'entreprise exige une réflexion continue sur l'amélioration de la performance et de la compétitivité de l'entreprise. (Chevalier 1996) définit la compétitivité comme « la capacité de déceler en permanence les besoins, exprimés ou latents, des consommateurs et de répondre à ces besoins en réalisant du profit ». A ce titre, le développement d'offres de services est souvent présenté comme une stratégie de différenciation (Malleret 2005). Ce développement s'est fait progressivement afin, d'une part, de répondre aux besoins du développement industriel (transport, communication, réparation, banque, assurance...) et d'autres part de satisfaire les nouveaux besoins des consommateurs.

Les services sont considérés par certains comme complémentaires aux produits : services complémentaires (Gadrey 1988), services annexes (Riddle 1986), services additionnels (Witt & Salomon 1989) et par d'autre comme un système combiné indissociable de l'offre : bundle (Van Looy et al. 2003), compacks (Bressand et al. 1989), produit-service (Eiglier & Langeard 1987).

Pour illustrer l'importance et l'enjeu que représente le service pour l'industrie du produit, nous reprenons la préface d'une note publiée par le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie en janvier 2003 (Lagaronne et al. 2003) la Ministre déléguée à l'Industrie, Nicole Fontaine, s'exprimait: « Un des facteurs de différenciation et de compétitivité des entreprises industrielles, aujourd'hui mieux identifié, s'inscrit dans le développement d'une démarche « service »: au-delà de la mise sur le marché de ses seuls produits, l'entreprise doit intégrer, au travers d'une « offre globale », l'ensemble des besoins de ses clients. En effet, la complexité de plus en plus élevée des produits impose, pour leur appropriation et leur usage, des compétences toujours plus pointues, souvent hors du cœur de métier des entreprises utilisatrices. Davantage que l'achat d'un produit, le client cherche à acquérir une « solution » lui apportant simplicité, facilité et tranquillité. Cette démarche sera une donnée clé des entreprises pour la prochaine décennie ».

(Furrer 1997) (Mathieu 2001) (Lagaronne et al. 2003) présentent les différents avantages du développement des services dans les entreprises industrielles :

La fidélisation des clients : Offrir des services permet à l'entreprise d'être en contact avec ses clients, et donc à leur écoute. Ceci permettra à l'entreprise d'améliorer et de faire évoluer son offre de services en suivant leurs attentes et exigences. Cet effort créera aussi une certaine dépendance et fidélisation du client vis-à-vis du fournisseur ;

La différenciation par rapport aux concurrents : Le service est une source de différenciation par rapport aux concurrents proposant le même produit. (Furrer 1997) fait

la distinction entre les services ayant un potentiel de différenciation significatif et les services restant « basiques » (Mathieu 2001);

Accroissement et stabilisation du chiffre d'affaire : Les services présentent un potentiel d'accroissement du chiffre d'affaire car ils permettent à l'entreprise d'élargir son intervention et sa part dans la « chaîne de valeur ». Par ailleurs, la relation de service s'étale sur une durée plus longue que l'achat ponctuel d'un produit, elle permet ainsi une stabilisation du chiffre d'affaire. Ainsi, « Pour l'entreprise qui les fournit, ces services sont une source directe et indirecte de profit ; directe parce qu'ils sont souvent plus rentables que les produits qu'ils entourent ; et indirecte, parce que, attendus par les clients, ils sont inducteurs de la demande de produits et source de différenciation de l'offre de l'entreprise. » (Furrer 1997).

Amélioration de l'image de l'entreprise : Offrir des services renvoie aux clients une certaine « image de maîtrise » par l'entreprise. Si l'entreprise s'engage et tient ses engagements en termes de services, cela ne pourra qu'améliorer son image et sa compétitivité.

Du point de vue des clients, plusieurs motivations peuvent être citées qui les amènent à privilégier de plus en plus des offres de services. Nous pouvons ainsi considérer notamment : la diminution des coûts (si le fournisseur du service est plus compétent dans une activité que le client), les gains de temps et d'efficacité, la création et le partage de connaissances et de savoir entre le client et le fournisseur, la minimisation des risques et l'amélioration du confort sur l'usage du produit. En somme, le client cherche de plus en plus des « solutions », celles-ci sont souvent une combinaison de services et produits. Que le client soit une personne physique ou morale, ses motivations restent les mêmes. Dans le cas d'une entreprise (personne morale), celle-ci souhaite se focaliser sur son cœur de métier et ainsi avoir des partenaires qui puissent assurer les services dont elle a besoin.

Certains auteurs comme (Keraudy & Pelletier 2004) (Nagle & Holden 1995) mettent en garde par rapport à la rentabilité des services. Si l'entreprise arrive à améliorer sa compétitivité, ce n'est pas évident pour la rentabilité. Ainsi, le défi est que l'avantage compétitif se traduise en rentabilité. D'où la nécessité de facturer les services, et pour cela il faudra acquérir une connaissance des coûts liés aux services (Mathieu 2001). Le caractère intangible des services rend difficile leur facturation (Berry & Yadav 1996). C'est ce que confirme l'étude des pratiques industrielles proposant des services, celle-ci a été effectuée par (Baglin & Malleret 2004) et indique que seulement 22% des entreprises affirment calculer la rentabilité des services.

3 Contexte scientifique de la thèse

Les travaux effectués dans cette thèse s'inscrivent dans un projet global initié par la région Rhône-Alpes (ARC8) et le cluster GOSPI (Gestion et Organisation des Systèmes de Production Innovants) sous l'acronyme SPOS (Systèmes de Production Orientés Services). Ce premier projet a donné naissance à un deuxième projet, ServINNOV (Innovation industrielle durable par la

servicisation), financé par l'ANR et toujours dans la même thématique de servicisation. Ce projet traite la problématique de servicisation d'une manière pluridisciplinaire : compétences en sciences de gestion avec le laboratoire COACTIS (Lyon) ; compétences en écoconception avec le laboratoire G-SCOP (Grenoble) ; compétences en politiques publiques et territoires avec le laboratoire PACTE (Grenoble). Le projet profite aussi des compétences apportées par des partenaires industriels (MECALOIRE, ENVIE Loire). Le projet ServINNOV traite quatre verrous scientifiques :

- Proposition de modèles et cadres conceptuels de modélisation stratégique dans le contexte de servicisation ;
- Modèles d'évaluation durable des systèmes productifs orientés services ;
- Formalisation de la relation et de l'impact entre le développement de l'économie de fonctionnalité et le développement du territoire ;
- Proposition d'outils opérationnels de diagnostic, d'analyse, d'évaluation, d'aide à la décision et au pilotage des entreprises ancrées dans un territoire dans le contexte de servicisation.

Nos travaux de thèse s'intéressent au focus Génie Industriel de la problématique de servicisation. Nous aborderons la problématique et le verrou concernant l'aide à la décision par une approche de modélisation et simulation dans le contexte de servicisation. Nous souhaitons ainsi évaluer des scénarios de gestion de la transition vers une offre PSS des entreprises industrielles (PME).

Dans le domaine de la gestion de la production, (Giard 2005) fait le rapprochement entre un processus de production de services et un processus de production de biens. Selon lui, les deux s'effectuent au travers d'une succession d'opérations consommant des ressources en équipements, en main d'œuvre, en matières, en informations techniques ou procédurales ou en informations relatives à l'état d'utilisation du système productif. Néanmoins, des différences notables existent entre un système de production de biens et un système de production de services. Cela est dû aux caractéristiques intrinsèques aux services (Said 1989). Le Tableau 1 donne les différences entre le système de production de biens et les systèmes de production de services (servuction) (cette notion sera abordée dans le chapitre 2).

| Spécificités du système de fabrication des produits | Les spécificités du système de servuction |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| La tangibilité de l'output ; | L'intangibilité de l'output ; |
| La production précède l'offre ; | L'offre précède la production ; |
| La production et la consommation sont temporellement distinctes ; | La simultanéité de la production et la consommation ; |
| La non-participation du client au système de production ; | La participation active du client au processus de fabrication de service ; |
| La possibilité de standardiser les produits ; | La difficulté de standardiser les services ; |
| La possibilité de contrôler la qualité du produit avant sa consommation ; | La difficulté de contrôler la qualité du service avant la consommation ; |

Tableau 1 Comparaison entre le système de servuction et le système de production de bien tangible (Said 1989)

Dans le cas des systèmes de production de services (servuction), l'offre de service précède sa production (la prestation), il s'agit donc d'une démarche inversée à celle de la production de biens (dans laquelle, la production des biens précède l'offre). Ainsi, comme l'a souligné (Giard 2005), le client du service ne dispose pas d'élément(s) tangible(s) (prototype, échantillon ...) lui permettant

d'évaluer la performance du service avant son achat. L'évaluation de la performance du service ne peut s'effectuer qu'après le résultat (consommation du service). (Eiglier & Langeard 1987) précisent que « le service sera jugé de qualité ou non par le client après consommation [...] Dans le domaine des services, le concept de qualité est lié au résultat, ce qui veut dire que l'entreprise n'a aucun moyen de s'assurer de son niveau avant sa réalisation ». En effet, le prestataire de services ne dispose pas d'éléments matériels lui permettant de persuader les entreprises clientes de la performance de son service. Ainsi, pour un gestionnaire des opérations dans le service, l'étude de la performance des systèmes de production orientés produit-service nécessite, comme l'a souligné (Giard 2005), de réfléchir sur :

- la formulation de la demande de service ;
- la manière de produire le service et de mettre le bien à disposition du client.

(Giard 2005) souligne également le manque actuel de diversité dans les points de vue mobilisés pour analyser et piloter les systèmes de production de services. Souvent, industriels comme chercheurs s'intéressent aux seuls enjeux commerciaux et marketing (relation client oblige). Or, le développement croissant de l'offre de service, et l'importance de celui-ci dans la compétitivité de l'entreprise doivent pousser les industriels et les chercheurs à proposer des outils d'aide à la décision pour gérer les offres de services.

Dans le domaine du management des opérations de service (Service Operations Management, SOM), (Roth & Menor 2003) proposent un cadre de recherche (Figure 2) pour répondre à la question centrale du SOM : « quels sont les principes théoriques et pratiques qui peuvent permettre aux entreprises de gérer leurs opérations de façon à fournir les bonnes prestations aux bons clients et au bon moment ? ». Le cadre de recherche proposé s'articule autour de trois facteurs présentés dans la Figure 2 :

- La définition du marché ciblé en répondant à la question : « quels sont les clients cibles, leurs besoins et leurs attentes ? ». La bonne compréhension des marchés cibles est une condition nécessaire pour assurer la pertinence et l'efficacité d'une offre de service. Concrètement, les entreprises définissent des attributs et/ou caractéristiques communes pour segmenter leur clientèle. Des auteurs comme (Heskett et al. 1994) suggèrent de mettre l'accent, lors de cette phase de segmentation et de définition du marché cible, sur des attributs de type « psycho-graphique » (la façon dont les clients se comportent, la perception et les sensibilités des clients). Ceci dans le but de prendre en considération, au mieux, les attentes et les sensibilités des clients ;
- Le concept de service en répondant à la question : « quelle est l'offre proposée. Quels services et quels bouquets de services qui sont mis à disposition de ma clientèle ? » ;
- Le système de production de services. D'une manière générale ce facteur correspond à la conception du système productif répondant d'une manière efficiente et efficace à l'offre proposée par l'entreprise pour ses clients cibles.

L'interaction entre ces trois éléments donne lieu à la rencontre entre le client et le prestataire du service et son offre. Cette rencontre est étudiée dans la littérature en termes de qualité de service.

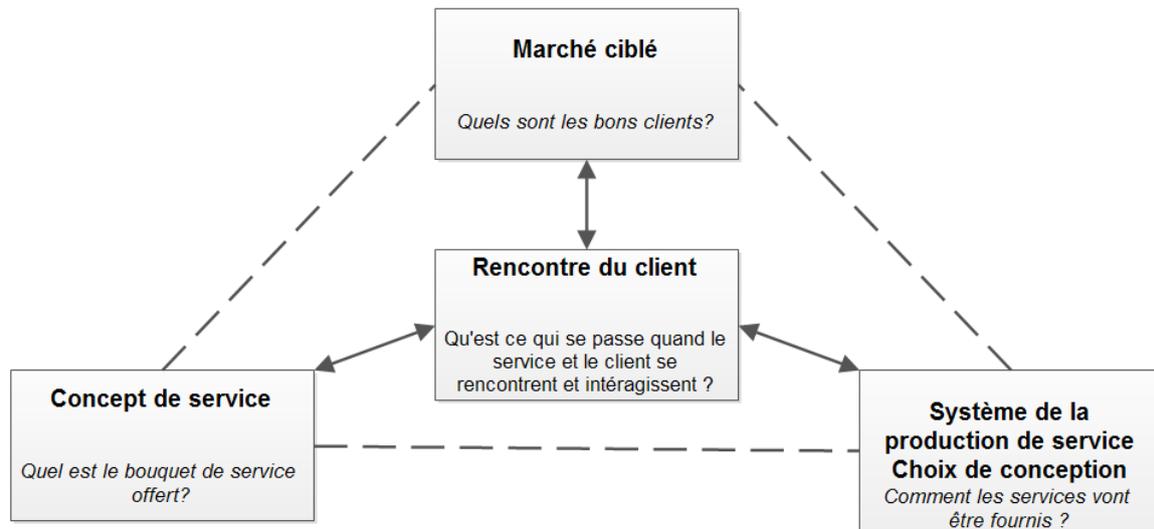


Figure 2 Cadre de recherche dans le management des opérations de service (Roth & Menor 2003)

(Giard 2005) précise que le rôle des managers d'opérations de service comprend en même temps les fonctions de production et de marketing. La séparation habituelle de ces deux groupes de fonctions grâce aux stocks de produits finis n'est plus valable. De leur côté, (Roth & Menor 2003) s'intéressent au « système de la production de services » et proposent une architecture présentée dans la Figure 3 ci-après. Ils décomposent le système productif de services en trois composantes :

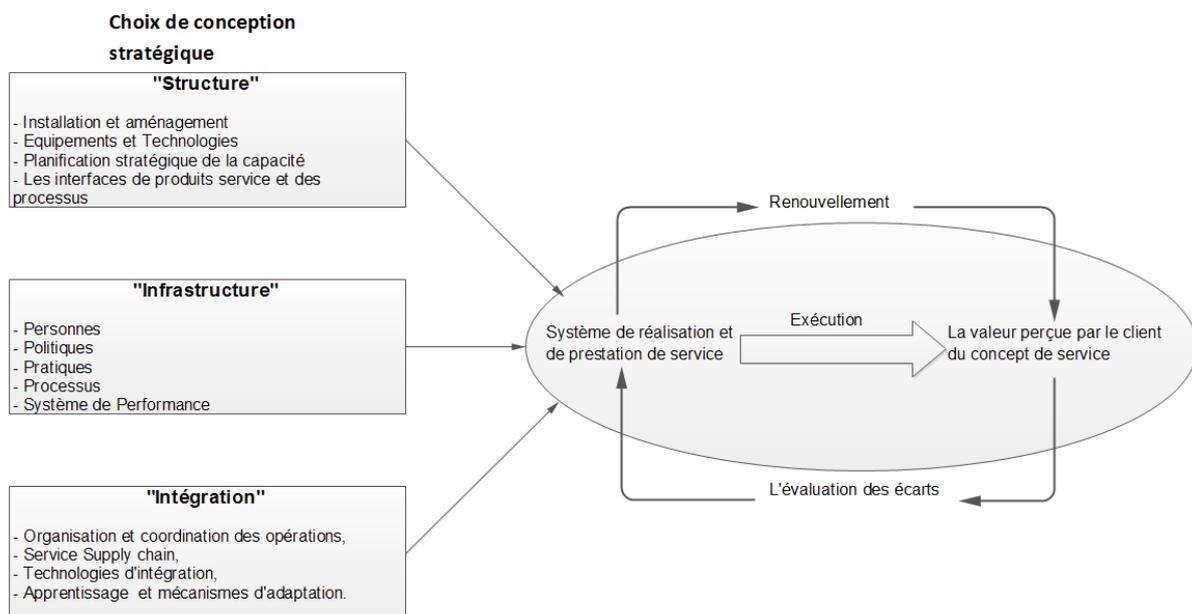


Figure 3 Architecture pour les systèmes de production de service (Roth & Menor 2003)

- **Choix de conception stratégique** : le choix de conception stratégique s'articule autour de trois composantes (Figure 3), des choix :
 - o au niveau structurel (focus sur les aspects physiques du système de prestation de service, la conception, la nature du contact avec le client, la gestion des capacités et le dimensionnement...);
 - o au niveau infrastructural (focus sur les aspects de gestion, de politique et de relation dans la stratégie de service, la gestion de la qualité de service, le système d'évaluation de la performance...);

- au niveau d'intégration (adéquation stratégique entre choix structurel et infrastructurel ...).
- **Système de réalisation/exécution de service et son évaluation :** Après les choix de conception, la définition du système de réalisation de service est primordiale, celui-ci permettant la rencontre entre le prestataire de service et le consommateur bénéficiaire. Ce système permet de définir : le rôle du prestataire dans cette rencontre avec le client (Chase & Haynes 2000) (Heskett 1986), le déploiement et la mise à disposition des installations pour l'exécution des services, la spécification des tâches et processus, et les procédures de traitement pour le front et le back office. L'évaluation du système de réalisation permet aux gestionnaires de suivre la performance résultante de leurs décisions. Parfois, un renouvellement et une mise à jour des décisions s'avèrent nécessaires (augmenter/diminuer la capacité du système d'exécution du service par exemple). Le renouvellement du système de réalisation du service est une activité essentielle. Elle permet à l'entreprise d'être attentive à sa clientèle d'une part, et à ses concurrents d'autre part. Elle peut ainsi rester compétitive (Menor et al. 2001) (Roth et al. 1997)(Chase & Hayes 1991).
- **La mesure de la valeur/qualité perçue par le client de l'offre de service :** La mesure de la qualité perçue par le client des services détermine l'efficacité d'un service. Les mêmes auteurs (Roth & Menor 2003) affirment que la prise en compte de la valeur perçue dans les stratégies opérationnelles reste un défi pour la recherche en Management des Opérations de Service.

4 Verrous scientifiques de la thèse

L'entreprise, initialement positionnée sur un métier industriel/manufacturier, cherche à évoluer en intégrant progressivement de l'activité de service, pour aboutir à la mise sur le marché d'offres intégrées PSS. Cette évolution, et les transformations de l'entreprise ainsi induites, supposent l'intégration de nouvelles activités, et le cas échéant, de nouveaux partenaires. On parle alors d'un réseau collaboratif d'entreprises.

Dans le cadre de nos travaux, nous ne nous intéressons pas spécifiquement au concept de PSS, mais à son système de production que nous dénommons Système de Production Orienté Système Produit Service (SPOSPS), basé sur un couplage de processus productifs manufacturiers et de processus de prestations de services. Nous proposons donc une démarche de modélisation qui adopte un point de vue et une finalité particuliers : le focus de la modélisation est placé sur les processus productifs en eux-mêmes (produits et services), avec pour ambition d'étudier et évaluer les mécanismes de pilotage des opérations adaptés au contexte des SPOSPS, puis de proposer une démarche et un outil d'accompagnement pour une transition vers une offre PSS. La transition, telle qu'elle est traitée dans nos travaux, concerne à la fois la transition du modèle économique et commercial (l'entreprise propose une autre offre commerciale) et la transition des processus industriels de l'entreprise. Une transition vers une offre PSS implique souvent la mise en réseau d'un ensemble d'entreprises partenaires. Notre analyse se limitera à l'entreprise pivot² du réseau.

² «Une firme pivot (...) conçoit, coordonne et facilite l'activité de plusieurs entreprises (sous-traitantes) à travers lesquelles se constitue et s'allouent des ressources mobilisées en compétences pour innover en vue de réaliser un projet productif en commun (partenariat) » (Snow et al. 1992).

Par rapport au cadre de recherche proposé par (Roth & Menor 2003), nous nous situons à l'interface entre le « système de la production de services » et « le concept de service », dans un cas où le marché ciblé est connu et ses besoins identifiés.

Une particularité de notre contexte est que nous considérons une situation potentielle de transition où l'entreprise envisage de changer de modèle économique vers une offre PSS. Une telle entreprise ne dispose ni d'un historique sur le comportement de ses clients et la formulation de la demande de services, ni d'une expérience sur la façon optimale de répondre aux besoins/sollicitations de ses clients.

Nous analyserons, à travers nos travaux, les transformations aux niveaux des processus productifs internes. Notre objectif est d'apporter une aide à la décision qui reposera, entre autres, sur la capacité à anticiper la performance du système en fonction de différentes décisions de gestion et face à différents types d'aléas.

Notre objectif étant une aide à la décision, non pas une optimisation, la simulation représente un outil d'évaluation a priori de la performance, ce qui correspond parfaitement à notre contexte. Le choix est motivé par cette possibilité de modéliser différentes configurations, en prenant en compte de nombreuses variables, et de permettre d'analyser des modèles de type « What-if ». L'étude de ces configurations demanderait un effort excessif (temps de mise en œuvre, limites techniques et technologiques, coûts) dans le cas d'une expérimentation physique, ou des méthodes analytiques (Thierry et al. 2008). La simulation permet donc une virtualisation qui réduit de manière très efficace les coûts d'analyse de ces configurations organisationnelles. L'objet de notre travail peut donc être vu sous deux angles :

- (i) Proposition d'une approche de modélisation et de simulation pour une aide à la décision dans le contexte de servicisation : l'approche proposée est générique ; des modèles conceptuels adaptables et un modèle de simulation spécifique à notre étude de cas sont proposés.
- (ii) Application de l'approche proposée sur une problématique de gestion des capacités et de gestion de l'offre : en effet, nous souhaitons traiter un cas d'étude réel et considérer une aide à la décision sur des leviers de pilotage à la fois au niveau du modèle économique (l'offre commerciale) et au niveau du système industriel (la gestion des capacités).

4.1 Quelle approche d'aide à la décision dans le cas d'une transition vers une offre PSS ?

Notre volonté de bien comprendre les phénomènes inhérents à une transition vers une offre PSS, le comportement dynamique d'un tel système, la relation entre les différentes activités et enfin d'étudier plusieurs configurations de notre système industriel, nous ont poussés à nous positionner sur une approche d'aide à la décision basée sur la modélisation et la simulation des systèmes. Cette dernière permet de construire un modèle d'une entreprise servicisée qui permettra, par simulation, de construire un savoir et des connaissances sur son fonctionnement.

Le premier besoin pour l'aide à la décision recherchée est la nécessité de construire un modèle conceptuel du système de production orienté PSS. Ce modèle se doit d'être générique le plus possible et doit prendre en considération les caractéristiques d'une offre PSS ainsi que le contexte de transition. Ceci afin de modéliser le système de production orienté PSS de manière à ce qu'il reprenne, le plus fidèlement possible, les différents comportements des clients/usagers.

La finalité de notre démarche de modélisation est d'être capable d'analyser dynamiquement la capacité du système productif à répondre aux besoins du système d'usage de manière efficace et efficiente. Or, ces deux systèmes, chacun avec sa dynamique propre, sont en constante interaction au travers d'un jeu de sollicitations et de réponses à celles-ci. Cette interaction sera représentée dans notre démarche au travers des sollicitations du système productif, dont l'objectif est d'établir un lien entre un signal de besoin en prestation émanant du client, et un ou des processus métiers chez le fournisseur permettant d'y répondre.

4.2 Quelle aide à la décision lors d'une transition vers une offre PSS ?

Un deuxième besoin qui apparaît pour notre problématique est la construction d'un modèle simulable et exploitable. La simulation est souvent utilisée dans la littérature pour analyser des systèmes logistiques et manufacturiers (Paul 1991) (Chan & Abhary 1996). Dans le contexte de la servicisation, cette approche nous permettra de coupler les activités de services avec les activités de production dans un même modèle de simulation, et ainsi pouvoir étudier, d'une part, la relation entre les activités de services et les activités de production, et d'autre part, analyser des modes de gestion et de pilotage qui lient les activités de services aux activités de production (affectation des ressources, gestion des stocks, polyvalence des ressources...). La simulation nous permettra aussi de coupler le comportement des clients/usagers avec le comportement du système industriel, offrant ainsi une vue d'ensemble du système qui permettra une analyse des interactions entre des variables de décision, des processus et des activités liés au système productif et au comportement du client/usager.

Dans nos travaux et compte tenu de la complexité du contexte, nous nous limitons au cas des PSS orientés usage (au sens de la typologie de Tukker (Tukker 2004)). La transition de l'entreprise vers une offre PSS est une décision stratégique (Bianchi et al. 2009), et l'étude de cette transition peut être faite sur plusieurs leviers et points de vue (stratégique, tactique et opérationnel) (Oliva & Kallenberg 2003)(Beltagui et al. 2008)(Alvizos & Angelis 2010). Dans nos travaux de recherche, nous étudions la transition par rapport à trois « objectifs d'analyse » (Figure 4) :

- *la gestion de l'offre de contrat* : le modèle devra permettre la configuration technique de l'offre de contrat PSS ;
- *la gestion des capacités* : le modèle devra permettre d'étudier différentes stratégies et règles de gestion des capacités ;
- *l'interaction entre gestion de l'offre et gestion des capacités* : le modèle devra permettre l'analyse de la relation entre les variables de décision liées à l'offre de contrat et les variables de décisions liées à la gestion des capacités.



Figure 4 Problématique d'aide à la décision

5 Démarche de recherche et organisation du manuscrit

Notre travail de thèse s'intitule « Aide à la décision pour la servicisation des PME industrielles: une approche par modélisation et simulation ». Afin de répondre à notre problématique de recherche, nous nous sommes appuyés sur l'apport théorique dans le domaine de la modélisation et simulation, la compréhension des concepts clés propres au contexte économique de servicisation (économie de fonctionnalité, système produit-service, service) ainsi que les problématiques associées. La collaboration, tout au long de la thèse, avec l'entreprise ENVIE Loire (l'entreprise sera présentée dans le chapitre 7) a été un support, d'une part, pour avoir une vision concrète et pratique des problématiques soulevées lors de la servicisation et d'autre part, une aide pour la proposition de la démarche de modélisation et la formalisation des modèles conceptuels. Nous avons donc eu une démarche de recherche à la fois théorique et pragmatique, étayée par le support pratique de la collaboration avec l'entreprise ENVIE Loire (Figure 5).

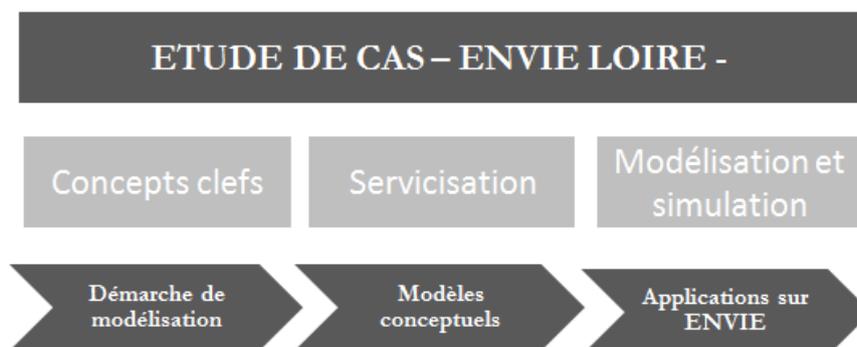


Figure 5 Démarche de recherche

Pour l'organisation du manuscrit, nous avons adopté un découpage en parties, chaque partie comportant des chapitres répondant à un objectif précis (Figure 6).

Nous commencerons par la présentation du contexte et l'état de l'art lié à la thèse. Dans la première partie nous parlerons de l'économie de fonctionnalité et de la notion de service. Nous n'avons pas la prétention de faire un état de l'art exhaustif mais de prendre les références clés pour chaque concept. Nous parlerons également du concept de servicisation (ou de transition vers le service) et de ce qu'implique ce choix en termes de problématiques pour une entreprise.

Pour finir, nous allons présenter un chapitre d'état de l'art sur les démarches de modélisation et de simulation et les différents outils de modélisation et de simulation des systèmes. Cette première partie a donc pour ambition de clarifier des concepts liés à la problématique de thèse et d'avoir un état de l'art sur la modélisation et la simulation des systèmes.

La deuxième partie du manuscrit s'intéressera aux contributions faites pour répondre à notre problématique consistant à « proposer une démarche de modélisation et de simulation ». Dans cette partie, nous allons proposer et spécifier une démarche de modélisation et de simulation ainsi que des modèles conceptuels nécessaires pour la modélisation et les simulations que nous souhaitons mettre en œuvre. Cette démarche et ces modèles conceptuels ont été conçus de génériques et réutilisables.

La troisième partie du manuscrit répondra à notre problématique d'« appliquer la démarche d'aide à la décision proposée sur un cas d'étude ». Nous allons donc présenter notre cas d'étude (l'entreprise ENVIE Loire) et les questions auxquelles nous souhaitons répondre pour la servicisation de cette entreprise. Le modèle de simulation, ainsi que l'ensemble des simulations menées seront présentés. Une analyse des résultats ainsi qu'un ensemble de conclusions de gestion et de management seront développés.

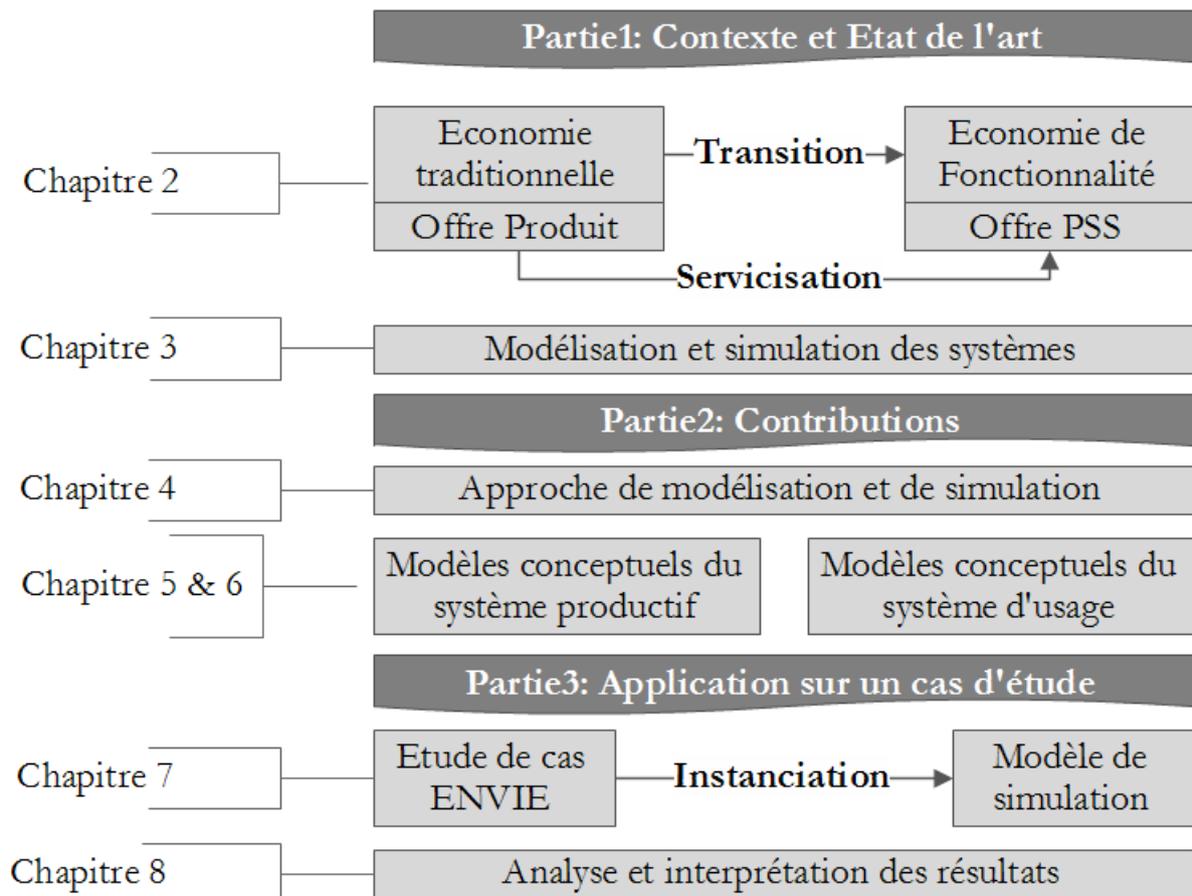


Figure 6 Organisation du document

6 Conclusion

L'importante mutation socioéconomique ainsi que la forte concurrence des pays émergents poussent les industriels vers une évolution de leurs offres. Ainsi, de plus en plus de produits sont associés à une offre de services. Cette évolution vers une offre de plus en plus servicisée est connue sous le concept de servicisation. Nos travaux de recherche s'intéressent à ce processus de servicisation, en apportant une démarche de modélisation et de simulation pour une aide à la décision des entreprises souhaitant basculer vers une offre PSS (Product-Service System). Nous résumons en trois points, le positionnement de nos travaux de recherche :

1. *Contexte général* : le contexte général de notre travail s'inscrit dans le cadre des problématiques de configuration, de modélisation, de simulation des systèmes de production orientés PSS. Nous considérons une entreprise qui a décidé de proposer une offre PSS, et nous supposons qu'elle a, au préalable, étudié la faisabilité d'une telle transition. L'entreprise souhaite se positionner sur les PSS orientés usage.
2. *Problématique* : nous avons délimité le champ d'étude qui correspond à notre problématique de configuration du système productif orienté services. Dans ce contexte, il s'agit d'évaluer les différentes configurations et scénarios d'offre de contrat et la configuration du système productif (en termes de gestion des capacités).

3. Contributions :

- Proposition d'une démarche de modélisation et de simulation
- *Modèle conceptuel* : à partir des caractéristiques du contexte des offres PSS, nous avons conçu un modèle générique d'un système productif orienté PSS.
- *Modèle de simulation* : à partir du modèle conceptuel, nous avons développé un modèle de simulation à événements discrets. Le modèle de simulation permet d'étudier plusieurs configurations du système productif.
- *Expérimentation* : Expérimentation sur le cas ENVIE en étudiant différentes configurations de l'offre du contrat et du système productif (gestion des capacités).

Chapitre 2

Servicisation : problématiques de transition vers une offre PSS

1 Introduction

Une démarche de servicisation peut s'inscrire dans une recherche d'innovation et de développement économique en permettant à l'entreprise une meilleure fidélisation des clients, la stabilisation d'une partie du chiffre d'affaires, une différenciation vis-à-vis de la concurrence, un accès à de nouveaux segments de clientèle et, au final, un accroissement du chiffre d'affaires et des marges (Baglin & Malleret 2004) (Baines et al. 2007).

(Vandermerwe & Rada 1988) introduisent dans la littérature le concept de servicisation. La constitution d'une offre d'un système « produit-service » est le résultat du processus de servicisation (Baines et al. 2007). Ce concept de Product Service System (PSS) a été introduit par les travaux de recherche de (Goedkoop et al. 1999). Pour (Gebauer et al. 2006), adopter une stratégie de service peut être plus rentable que d'investir dans la qualité des produits ou dans l'innovation technologique. Ce constat a été dressé en examinant les facteurs de succès des différents modèles économiques et stratégiques d'entreprise. Le PSS ne considère plus le service comme un centre de coûts et une activité à non-valeur ajoutée mais plutôt comme une activité génératrice de profit, d'avantage concurrentiel et un centre de profits pour l'entreprise.

2 Le service et la prestation de service

Le service est une notion qui peut être définie sous plusieurs angles différents. Nous avons dans la littérature plusieurs domaines et disciplines de recherche qui fournissent des définitions différentes et variées. En effet, historiquement et du point de vue des activités économiques on regroupait les activités de services dans les activités dites « tertiaires ». L'accroissement et la variété des services posent le problème d'une définition générique de la notion de « service ». Ce constat a été soulevé par (Haywood-Farmer & Nollet 1991) en affirmant que « malgré plus de 25 ans d'études, les spécialistes du domaine de la gestion de services n'ont pas pu se mettre d'accord sur ce que veut dire « service ». (...) Le problème est d'essayer de décrire en quelques mots 75% de l'activité économique des nations développées. Faut-il donc s'étonner qu'il y ait des exceptions pour toutes ces définitions ? ».

Les premiers auteurs ayant tenté une définition de la notion de service étaient les chercheurs en économie comme (Hill 1977), ou encore (Gadrey 1992) qui considère qu'« une activité de service est une opération, visant une transformation d'état d'une réalité C, possédée ou utilisée par un

consommateur (client, ou usager) B, réalisée par un prestataire A à la demande de B, et souvent en relation avec lui, mais n'aboutissant pas à la production d'un bien susceptible de circuler économiquement indépendamment du support C. ». Cette définition a été actualisée par l'auteur en 2000 : « un achat de services par un agent économique B (un individu ou une organisation) serait l'achat d'un droit d'utilisation, généralement pour une certaine durée, par une organisation A. Ce droit d'utilisation de capacité technique ou humaine, possédée et contrôlée par A, est destiné à produire des effets utiles sur l'agent B ou sur les biens C, possédés par l'agent B ou dont il ou elle est responsable. ».

Dans le domaine de la sociologie, (Zarifian 2001) propose deux définitions complémentaires du service, l'une à partir des effets de service en le considérant comme étant « une transformation dans les conditions d'activités, et dans ses dispositions d'actions du destinataire dont les effets sont jugés valables et positifs par ce dernier » et l'autre en considérant un focus sur les ressources en affirmant qu'un service « est une organisation et une mobilisation les plus efficaces possibles des compétences pour interpréter, comprendre et engendrer cette transformation, efficacité jugée par la direction de cette organisation, comme par ses salariés, voire par le destinataire lorsqu'il s'agit de lui-même comme ressource ».

Dans le domaine de la gestion de la production, les premiers travaux et réflexions sur la notion de service et sur son système productif ont été menés par (Eiglier & Langeard 1987). Les auteurs ont d'abord introduit le système de production de services, appelé par les auteurs le système de servuction. Ils considèrent donc qu'« un service élémentaire est le résultat ou l'output d'un système de servuction, en d'autres mots, le résultat de l'interaction qui se produit entre le support physique, le personnel et le client » (Eiglier & Langeard 1987). Pour (Dumoulin & Flipo 1991), « Un service est un acte (ou une succession d'actes) de durée et de localisation définies, accompli grâce à des moyens humains et/ou matériels, mis en œuvre au bénéfice d'un client individuel ou collectif, selon des processus, procédures et comportements codifiés ». Plus récemment encore, (Giard 2005), avec une vision processus, considère trois définitions différentes du service selon les caractéristiques de celui-ci. Ainsi, la prestation et la production de services peuvent être :

- une mise à disposition de produits à des clients par le biais d'opérateurs (vendeurs, guichetiers, coursiers...) ou de machines (billetteries, distributeurs de nourriture ou de boisson...),
- une mise à disposition, suite à une demande, d'informations simples (position de compte par Guichets Automatiques Bancaires, téléchargement de musiques ou de films...) ou résultant d'un traitement complexe (diagnostic...), le support matériel de cette information (document, fichier électronique, CD...) importe peu,
- une modification de l'état de certaines ressources (réparation ou maintenance pour les équipements, formation pour les hommes, changement de la localisation de produits ou de personnes...).

Toujours dans cette vision processus et gestion de production, (Grönroos 2000) définit une prestation de service comme : « une activité ou une séquence d'activités qui donne lieu à une interaction entre le client et les structures, les ressources humaines, les biens et les systèmes qui sont fournis en réponse aux besoins du client ».

3 Le service dans la recherche académique

L'accroissement et la montée des activités de service dans les entreprises ont été accompagnés par des recherches académiques explorant ces activités si différentes des activités et offres classiques de biens. Ainsi, et par opposition ou par complémentarité au Management des Opérations de Production (MOP), nous assistons à l'émergence et au développement du domaine du Management des Opérations de Service (MOS). Des chercheurs ont essayé de retracer l'évolution de management des opérations de service. (Chase & Apte 2007) énumèrent les grandes idées du MOS repris par (Balin 2007)(Tableau 2).

| Période | Grandes idées dans la théorie et la pratique |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1900 - 1950 | Application du management scientifique aux services Walt Disney : industrialisation du loisir Holiday Inns : consistance dans les services à multi-sites |
| 1960 - 1970 | McDonald's : approche de la ligne de production aux services Economie et opérations de services dans le système de santé |
| 1970 - 1980 | Industrialisation des services Ajustement de l'offre et de la demande dans les services Modèle de la rencontre du client Analyse par enveloppement de données (Data Envelopment Analysis) |
| 1980-1990 | Classification de services pour avoir une vision marketing et opérationnelle Modèle des écarts de la qualité de services et SERVQUAL Vision de service stratégique Garantie non-conditionnelle de service Psychologie d'attente Yield management |
| 1990 - 2000 | Chaîne de profits de service Utilisation des systèmes de détrompeurs (poka-yoke, fail-safe) Mondialisation de services de traitement intensif d'informations Émergence de l'économie d'expérience |
| 2000 - Aujourd'hui | Utilisation des sciences comportementales pour les opérations de service Management des opérations dans les services de traitement intensif d'informations Technologie d'information dans les services et les e-services Externalisation globale de processus Conception de services |

Tableau 2 Grandes idées de la recherche dans les opérations de service (Balin 2007).

Pour (Heineke & Davis 2007) la recherche académique a commencé à s'intéresser aux services à partir des années 1970. Ils décomposent l'évolution de la recherche dans les services en quatre décennies (Balin 2007) :

1^{ère} décennie (1970-1980) : Cette décennie est celle où on remet en cause l'application et l'applicabilité du management industriel aux services. En effet, l'augmentation et la variabilité des opérations et prestations de services remettent en cause la pertinence du management industriel dans les services. Le premier auteur à avoir proposé et essayé de transférer les approches et techniques de la production de biens à celles de services est Levitt dans ses deux articles intitulés « approche de la ligne de production aux services » et « industrialisation des services » (Levitt 1972) (Levitt 1976). Dans l'article « ajustement de l'offre et de la demande dans les industries de

services » (Sasser 1976) étudie la différence entre la production de services et celle des biens. Cet article est à l'origine de l'application du concept de « Yield Management » dans les transports aériens.

En 1978 (Chase 1978) propose une distinction et une séparation entre les activités du back-office, de celles de front-office afin d'améliorer la performance (au sens efficacité et efficience) du système. Fitzsimmons quant à lui est considéré comme pionnier dans l'application des techniques de recherche opérationnelle dans le domaine de la santé avec son article intitulé « une méthodologie pour le déploiement des ambulances du service d'urgences » (Fitzsimmons 1973).

2^{ème} décennie (1980-1990) : Cette décennie est celle où les chercheurs posent la question de la qualité dans les services et de son amélioration. On retrouve ainsi les travaux de (Wyckoff 1984) sur le transfert de l'application des outils et méthodes d'amélioration de la qualité disponible dans la production de biens aux activités et prestations de services. La gestion du personnel et de la relation client est un facteur primordial pour la réussite d'une offre de service, on retrouve dans cette perspective les travaux de (Wyckoff 1984) (Hart 1988).

3^{ème} décennie (1990-2000): Cette décennie traite des problématiques de fidélisation des clients et des aspects stratégiques de l'orientation service. Des auteurs ont étudié la compétitivité et la rentabilité des services (Schlesinger & Heskett 1991)(Heskett et al. 1997). Par ailleurs, des travaux sur l'importance et l'impact des services sur l'amélioration de la performance et la compétitivité des entreprises ont été menés, nous pouvons citer par exemple les travaux de (Chase & Garvin 1989) et (Wise & Baumgartner 1999).

4^{ème} décennie (>2000) : Pour cette période, nous assistons à l'émergence des TIC (Technologie d'Information et de Communication). Cette révolution a fait évoluer la notion de service, et on voit émerger d'avantage de services de plus en plus personnalisés via internet. Nous assistons ainsi à une mutation et redéfinition des frontières du front et backoffice. Ces technologies permettent une meilleure connaissance des attentes du client et de la demande et ainsi un meilleur ajustement entre l'offre et la demande par les techniques telles que celles du « Yield Management ». L'apport des technologies d'information, induit une évolution vers les services en ligne et le management des ressources humaines (Heineke & Davis 2007).

4 L'économie de fonctionnalité : un cadre économique lié à l'émergence des services

Avec l'accroissement des activités industrielles, qui n'est pas sans conséquence sur l'épuisement des ressources et sur les perturbations liées au changement environnemental ; une réflexion et un questionnement sur la nécessité de revoir la notion de la valeur ont été initiés par (Giarini 1981). Cinq ans plus tard et en collaboration avec Stahel, Giarini propose le concept de l'économie de fonctionnalité, appelé aussi l'« économie de la performance ». Cette économie est fondamentalement différente de l'économie traditionnelle appelé « économie de rivière » qui puise (et épuise) les ressources naturelles et affecte, voire même détruit, la nature par les déchets et les différents rejets. Cette économie traditionnelle est dite économie linéaire. L'économie de performance quant à elle appelée « économie de lac » est constituée par des boucles de

revalorisation des produits (utilisation, maintenance, réparation, remise en état, réutilisation, recyclage). Un ouvrage fondateur de cette nouvelle vision de l'économie intitulé « The Performance Economy » a été écrit par (Stahel 2006). Toujours dans cette logique de fonctionnalité, (Giarini & Stahel 1989) proposent le concept de l'économie de service. Les auteurs la définissent comme étant une économie dans laquelle on n'achète pas un produit mais plutôt l'usage d'un système, compris comme la combinaison de produits et services. Les auteurs opposent ainsi clairement deux types d'économies, l'économie industrielle (product-oriented economy) et l'économie de service (service-oriented economy).

Pour (Stahel 2006), l'économie de la fonctionnalité a pour objectif d'optimiser l'usage et la fonction des biens et services. Elle vise ainsi à créer la valeur d'usage la plus élevée et pour la plus longue durée possible. Le modèle de l'économie de fonctionnalité est un modèle de non transfert de propriété des biens. En effet, le produit est vu comme un moyen de satisfaire un besoin sans être forcément possédé par le client. La valeur d'usage prend alors plus d'importance que la valeur d'échange. Par ailleurs, l'économie de fonctionnalité vise à répondre aux exigences environnementales en réduisant la matière consommée en amont de la chaîne logistique et les déchets en fin de vie des produits.

Plusieurs concepts ont émergé pour traduire le concept d'économie de fonctionnalité. Outre les définitions de Stahel et Giarini, d'autres concepts proches de l'économie de fonctionnalité ont été répertoriés dans la littérature par le travail de (Van Niel 2007). Nous retrouvons ainsi les concepts de « utilization-focused service economy » (Stahel 1994), « eco-services » (Behrendt et al. 2003), « eco efficient services » (Hockerts 1999)(Meijkamp 2000)(Brezet et al. 2001). Tous ces concepts et notions renvoient à l'idée fondamentale de la vente de services autour de produits et à la vente de systèmes et solutions intégrés (Brady et al. 2005). L'économie de fonctionnalité met donc le service et la durabilité de la relation client-fournisseur basés sur la vente de fonctionnalité au cœur des affaires et des échanges entre agents économiques. L'économie de fonctionnalité est donc étroitement et intimement liée au développement des activités de services et elle nécessite une organisation en réseaux (partenariats) d'entreprises afin d'assurer au mieux la satisfaction des besoins du client. On se retrouve donc dans une nouvelle approche des modes de création de valeur pour les entreprises.

5 Système Produit-Service

5.1 Emergence et définition des PSS

Le concept de PSS (Product-Service System) a été initialement introduit dans la thèse de (Mont 2000). Ce concept est une suite des travaux de (Manzini 1996) sur les « Product Service Combinations » ; il vise la satisfaction des besoins de l'utilisation à travers l'usage combiné d'un (ou des) produit(s) et service(s) ; ces combinaisons peuvent être de différentes formes. La solution PSS (ou SPS pour Système Produit Service) se focalise sur la valeur d'usage plutôt que sur la propriété du produit (Tukker & Tischner 2006) (Ôstlin et al. 2009) (Exemple : se déplacer d'un point A à un point B, laver 4kg de linge).

(Mont 2000) définit ainsi les PSS comme « une combinaison préconçue des produits et des services dans un marché afin de satisfaire aux besoins des clients, qui ont un impact environnemental inférieur aux produits et services séparés en dehors d'un système cohérent » (Mont 2000). (Tischner et al. 2002) proposent une définition un peu plus détaillée des PSS mais en ne prenant pas en compte la dimension environnementale : « un PSS est constitué de produits tangibles et de services intangibles conçus et combinés de façon à être capables de satisfaire conjointement les besoins spécifiques des consommateurs. L'économie se concentrant actuellement soit sur la fabrication de produits, soit sur la fourniture de services, la stratégie des PSS consiste à faire passer la cible de l'innovation d'une conception orientée uniquement produit ou service à une stratégie de conception d'un ensemble intégré de produit(s) et de service(s). Cela peut nécessiter d'impliquer des parties prenantes supplémentaires, voire les consommateurs, dans les processus de développement et de conception des PSS. ».

Bien qu'il y ait une multitude de définitions, souvent on y retrouve des concepts similaires à toutes les définitions, tels que développement durable, services intangibles, produits, partenaires, réseaux... Dans une revue de littérature, (Baines et al. 2007) estiment que la plupart des auteurs ont adopté la définition de (Goedkoop et al. 1999) qui consiste à dire qu'un PSS est « un système de produits, services, réseaux d'acteurs et infrastructure support qui s'efforce de manière continue à être concurrentiel, à satisfaire les besoins du consommateur et à avoir un impact environnemental plus faible comparé aux modèles économiques traditionnels ».

Par ailleurs, différents auteurs soulignent d'autres caractéristiques des PSS. À titre d'exemple, nous citons :

- l'extension de la responsabilité du producteur (le producteur est responsable du produit de sa conception à sa fin de vie, même en phase d'utilisation/usage) ;
- la relation client/fournisseur qui influence le succès de la mise en place d'un PSS (l'implication du client dans la chaîne de création de valeur, ce qui implique un changement organisationnel ;
- l'apparition de nouvelles parties prenantes. La mise en relation d'un réseau d'acteurs pour répondre efficacement aux besoins des clients).

(Stahel 2006) nous met en garde sur la multitude de concepts « marketing » et « commerciaux » liés d'une manière superficielle à l'économie de fonctionnalité. Il affirme ainsi que « des concepts tels que servicizing et Product-Service Systems n'incluent pas nécessairement une internalisation par les acteurs économiques des responsabilités et des coûts des déchets... ».

5.2 Types de PSS

Comme le précisent l'ensemble des définitions relatives au PSS, celui-ci est une combinaison d'un ensemble de produits et de services. Plusieurs formes de combinaisons existent et sont répertoriées dans la littérature. Ainsi, une typologie basée sur le ratio Produit/Service ou l'intégration Produit/Service a été proposée par (Tukker 2004) (Tukker & Tischner 2006) (Geum & Park 2010). Ces auteurs distinguent trois types de PSS (Figure 7) :

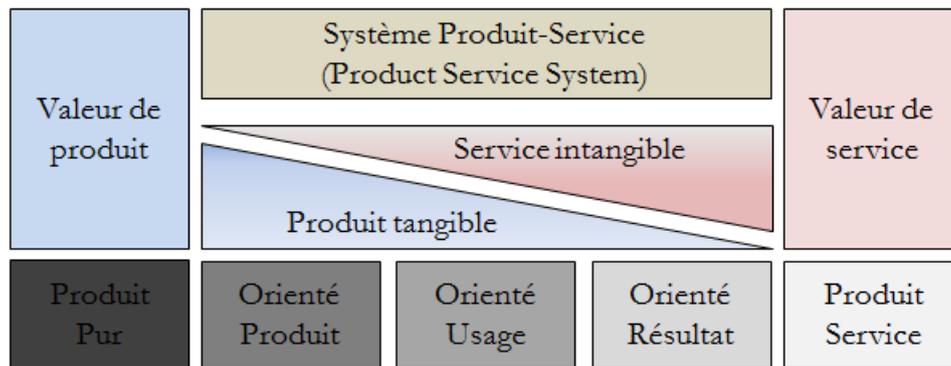


Figure 7 différents types PSS adapté de (Tukker 2004)

- PSS orienté produit (Product Oriented Service) : dans ce type d'offre, l'entreprise vend un produit d'une manière traditionnelle avec des services additionnels (maintenance, livraison...). Ces services sont à la charge de l'entreprise et l'ensemble des services est spécifié dans des clauses du contrat.
- PSS orienté usage (Use Oriented Service) : cette offre consiste à vendre la fonction du produit plutôt que le produit lui-même. Il n'y aura donc pas de transfert de propriété du fournisseur vers le client. Le fournisseur sera alors responsable de l'ensemble des services liés au produit (livraison, installation, remise à niveau, maintenance, recyclage...).
- PSS orienté résultats : dans ce cas, l'entreprise ne vend plus uniquement une fonction, mais un engagement de résultat et de performance. L'utilisateur paie le fournisseur par rapport à une performance que celui-ci lui fournit. Dans le cas où le résultat n'est pas satisfaisant pour le client (au sens des clauses du contrat), le client ne rémunère pas le fournisseur. Dans ce type d'offre, l'entreprise a donc une vision de la performance et de la satisfaction du client plus importante.

Pour l'ensemble de ces offres, l'entreprise a tout intérêt à améliorer la qualité de ses produits (dès la phase de conception) afin de minimiser son intervention et certaines prestations de services telle que la maintenance curative.

5.3 PSS dans la pratique

Des exemples de réussite de PSS ont été cités dans la littérature, nous allons reprendre l'exemple le plus cité et dont la réussite du modèle économique fait de l'entreprise un exemple de la viabilité économique du modèle PSS. Il s'agit de l'entreprise Michelin : « Michelin Fleet Solution » est une offre (B to B) intégrée produit service où l'entreprise garde la propriété des pneus, le paiement se fait au nombre de kilomètres parcourus. Par cette approche, Michelin a optimisé le cycle de vie des pneus de la conception à la phase d'utilisation et de revalorisation. D'autres exemples d'entreprises ayant réussi à proposer une offre PSS, parfois inscrite dans le cadre de l'économie de fonctionnalité, peuvent être cités comme le « car sharing », les vélos en libre services « VELO'V », Xerox ... Dans la pratique, les PSS les plus fréquents sont de type orienté produit.

Par ailleurs, le laboratoire de recherche Institut Fayol, en collaboration avec les laboratoires COACTIS, GSCOP et PACTE, mènent actuellement de nombreuses études de cas avec des industriels voulant s'inscrire dans cette logique d'offre PSS (Boucher et al. 2011). Nous pouvons citer comme exemples les entreprises ENVIE Loire, ECOBEL, PCI SCEMM... Ces entreprises ont un point en commun : la volonté de basculer vers une offre PSS et de s'inscrire dans un

processus de servicisation. Ces cas industriels offrent ainsi un cadre pratique pour les différentes réflexions menées dans le cadre du projet ServINNOV.

6 Economie de fonctionnalité, PSS et développement durable

Comme l'affirment (Umeda et al. 2005), les modèles actuels de production et de consommation de masse ne sont plus soutenables. Il est donc nécessaire de se tourner vers un autre cadre et paradigme économique. L'économie de fonctionnalité permet aux organisations de devenir plus durables (Bhamra et al. 2001). Nous allons présenter quelques implications sur l'environnement de l'adoption d'un modèle d'économie de fonctionnalité. Le PSS peut s'inscrire dans une économie de fonctionnalité si celui-ci a été pensé pour offrir un usage ou une performance. Si le PSS est juste une combinaison de produits et services avec cession de propriété du producteur vers le client (PSS Orienté-Produit), le PSS ne peut être considéré comme une offre qui rentre dans le cadre du modèle de l'économie de fonctionnalité. L'économie de la fonctionnalité nécessite ainsi une vision long terme et une « responsabilité élargie du producteur » (Grenelle 2008).

Les enjeux environnementaux de l'économie de fonctionnalité et des offres PSS sont largement discutés dans la littérature, entre ceux qui mettent en exergue les bénéfices environnementaux et ceux qui émettent des doutes. Nous allons donner quelques références et avis sur ce sujet.

D'abord, un des bénéfices de l'économie de fonctionnalité et des offres PSS qui s'y attachent est la diminution des matières premières à la source ainsi que la réduction des déchets. En effet, l'origine de la réflexion et de l'émergence de l'économie de fonctionnalité et du concept PSS était la prise en compte des considérations environnementales. Ainsi (Tukker & Tischner 2006) estiment que l'économie de la fonctionnalité pourrait permettre une réduction de facteur 2 de la consommation de matières. (Meijkamp 2000) affirme ainsi qu'en « fournissant les résultats finaux plutôt que les moyens de réaliser ces résultats, les entreprises ont intérêt économiquement à l'optimisation fonctionnelle des pratiques de consommation ». Par ailleurs, la non cession de la propriété du produit encourage l'entreprise à allonger la durée de vie de produit, ces produits sont alors plus solides pour une réutilisation et un recyclage en fin de vie.

Dans le cas où la phase de fabrication est plus génératrice d'impact environnementaux que la phase d'usage, concevoir un produit durable permet ainsi une optimisation des impacts environnementaux (exemple des vélos). Pour une meilleure évaluation et réduction des impacts environnementaux et consommation de matières et d'énergies, l'utilisation d'une approche « cycle de vie » (Analyse de Cycle de Vie) est alors bénéfique pour une vision holistique et une évaluation globale des impacts de l'offre.

(Buclet 2005) met en évidence le rôle de l'économie de la fonctionnalité et des offres PSS s'inscrivant dans la logique de l'économie de la fonctionnalité sur la gestion des déchets. En effet, celle-ci permet la réduction des déchets étant donné qu'elle se concentre sur l'optimisation de l'usage du produit d'une part, l'allongement de la durée de vie et la réduction du nombre de biens en circulation d'autre part.

Mais tous ces bénéfices escomptés ne sont pas automatiques (Hirschl et al. 2003). En effet, l'introduction de nouveaux produits, services et PSS avec un impact et une performance environnementale meilleure risquerait d'induire un effet rebond (rebound effect ou take-back effect) (Greening et al. 2000) (Hertwich 2005). L'effet rebond peut être simplifié en disant que, du fait que le produit, le service ou le PSS est présenté comme ayant une meilleure performance environnementale, le consommateur changerait ses habitudes de consommation et risquerait ainsi de réduire et de détériorer les gains en performance par une utilisation excessive du produit. Ainsi, de nouvelles offres risqueraient de « stimuler un autre acte de consommation, générateur d'impacts environnementaux, peut-être, supérieurs aux impacts évités via la mutualisation du bien » (Grenelle 2008).

7 La Servicisation

7.1 Les différentes visions de la servicisation

L'ajout de valeur aux produits en y intégrant des services comme par exemple les concepts de « augmented product » de (Levitt 1972)(Levitt 1976) ou de « peripheral services » pour (Sasser et al. 1978) est assez fréquent pour les entreprises manufacturières. Cet ajout et cette transformation de l'offre sont motivés généralement par des raisons économiques et marketing notamment l'avantage concurrentiel, les profits générés par les services et l'amélioration de la compétitivité de l'entreprise et de la relation client (Gao et al. 2011) (Mont 2000) (Gebauer et al. 2006).

La notion de « servitization » a été introduite par (Vandermerwe & Rada 1988), l'objectif des auteurs étant de montrer l'existence d'un continuum allant d'une entreprise manufacturière de « pure » production de produits vers une entreprise de « pure » production de service pur en passant par des formes intermédiaires d'offres combinées produits et services. Ils définissent ainsi la servicisation:

« Servitization as a movement in which companies consciously drive their business into services to gain competitive ground » (Vandermerwe & Rada 1988).

Cette première définition se limite ainsi à une volonté de gain en compétitivité comme unique motivation pour la servicisation des entreprises. (Ren & Gregory 2007) considèrent quant à eux la servicisation comme un processus avec une triple motivation des entreprises:

- Satisfaire les besoins des clients ;
- Améliorer la performance de l'entreprise ;
- Obtenir des avantages concurrentiels.

(Neely 2008) considère la servicisation comme un processus d'innovation organisationnelle :

« Servitization involves the innovation of an organization's capabilities and processes so that it can better create mutual value through a shift from selling product to selling Product-Service-Systems (PSS) » (Neely 2008).

Alors que (Visnjic 2010) la considère comme une innovation du modèle économique et définit la servicisation comme suit:

« Servitization is a business model innovation where a manufacturer of products expand the scope of transactions with customers by offering product related services and, hence, more encompassing solutions »(Visnjic 2010).

La figure suivante (Figure 8) donne la vision de (Merelli 2003) du concept de « servitization ». Il l'oppose ainsi au concept de « Productization ». Il considère que la servicisation est l'évolution de l'identité du produit basée sur son contenu matériel vers une identité basée sur un composant inséparable et indissociable du système de service. Le produit devient ainsi uniquement un élément appartenant à un système de services.

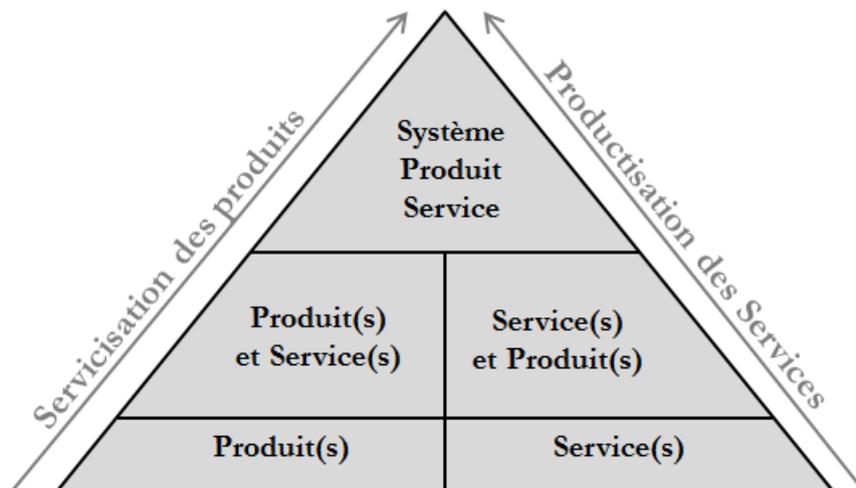


Figure 8 La Servicisation adaptée de (Merelli 2003)

Le Tableau 3 récapitule les différentes définitions du concept de servicisation (Alvizos & Angelis 2010). On distingue, dans les définitions, les auteurs qui considèrent la servicisation comme une stratégie, une tendance, une évolution, une innovation ou un processus.

| Auteur | Définition proposée |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (Robinson et al. 2002) | Servitization is a concept which goes beyond providing additional services but considers the total offer to the customer as an integrated bundle consisting of both the goods and the services |
| (Slack et al. 2004) (Lewis et al. 2004) (Slack 2005) | Servitization is a strategy that seeks to change the way in which product functionality is delivered to its markets (by marketing the capability rather than the product) |
| (Brax 2005) | Servitization is a process in which companies are adding more and more value to their core offering through services |
| (Åhlström & Nordin 2006) | Servitization is a strategy that seeks to establish service supply relationships to deliver product services in order to augment a physical product |
| (Nordin 2006) | In a Servitization strategy, business solutions, full maintenance contracts, and managing customers' operations are valued over repair, product support, product-oriented training, installation, systems integration |
| (Johnson & Mena 2008) | Servitization is a competitive strategy that involves the bundling of products and services. Servitisation involves a customer proposition that includes a product and a range of associated services |
| (Lindberg & Nordin 2008) | Servitization is the trend where firms move from manufacturing goods to providing services or integrating products and services into solutions or functions |
| (Neely 2008) | Servitization is the movement in which manufacturing firms move beyond manufacturing and offer services and solutions, often delivered through their products, or at least in association with them |
| (Neely 2008) | Servitization is the innovation of an organisation's capabilities and processes so that it can better create mutual value through a shift from selling products to selling Product-Service Systems |
| (Baines et al. 2009) | (Product-centric) Servitization is the phenomena where a portfolio of services is directly coupled to a product offering |
| (Baines et al. 2009) | Servitization is the offering of goods combined with closely related services |
| (Lewis & Howard 2009) | Servitization is a strategy in which manufacturers place a greater emphasis on a whole range of novel product-service combinations |
| (Lewis & Howard 2009) | Servitization may be either 'value creating' (additive in customer perceived value) or 'efficiency maximizing' (a form of outsourcing) |
| (Johnstone et al. 2008) | Servitization is the general trend away from a 'pure product' orientation towards a combined Product-Service offering |
| (Johnstone et al. 2009) | Servitization is a trend towards 'integrated solutions', 'P-Ss' or 'PSSs' |
| (Pawar et al. 2009) | Servitization is a transition from an emphasis on the manufacture of products to the provision of service |
| (Schmenner 2009) | Servitization is a term coined to capture the innovative services that have been bundled (integrated) with goods by firms that had previously been known strictly as manufacturers |

Tableau 3 Différentes contributions sur la définition de la servicisation (Alvizos & Angelis 2010)

7.2 Le processus de servicisation

Pour des entreprises initialement positionnées sur un métier industriel, une stratégie de développement de services peut s'affirmer progressivement et par étapes. Néanmoins, ce

processus peut ne pas aller à son terme. En effet, des cas d'entreprise qui ont adopté la servicisation sans avoir atteint leurs objectifs de rendement et de rentabilité ont été exposés dans la littérature (Neely 2007).

Pour décrire cette transition vers une entreprise orientée service, plusieurs auteurs ((Vandermerwe & Rada 1988)(Mathieu 2001)(Oliva & Kallenberg 2003)) ont proposé une classification basée sur le passage d'une logique d'offre de biens, exprimée notamment par la « Good Dominant Logic » à une logique d'offre de services exprimée par la logique de « Service Dominant Logic » (Vargo & Lusch 2004) (Vargo & Lusch 2008). Ce passage s'effectue d'une manière graduelle et dynamique. En effet, et comme le rapportent (Léo & Philippe 1999), « Ce sont les firmes les plus avancées dans la tertiarisation, celles qui offrent à côté de leurs produits des complexes de services très diversifiés, qui réussissent à transformer une contrainte en opportunité de chiffre d'affaires. Nous pouvons y voir un processus d'apprentissage qui amènerait progressivement les entreprises à changer de point de vue vis-à-vis de ce que le service peut leur apporter : d'obligation pour faire face à la concurrence, le service deviendrait ainsi un levier d'action sur la clientèle puis une nouvelle source de chiffre d'affaires, un nouveau courant d'affaires susceptible dans certains cas de se substituer complètement aux ventes de produit. ». D'après (Atos Consulting 2011), lors de la servicisation, l'entreprise doit revoir son système d'indicateurs de performance, reconcevoir ses processus, revoir son organisation et son management et intégrer la culture service ; ainsi la servicisation ne peut-être que graduelle.

Selon (Beltagui et al. 2007), (Vandermerwe & Rada 1988) et (Van Looy et al. 2003), la transition (ou le processus de servicisation) vers une offre PSS peut être décrite en trois étapes principales illustrées dans la Figure 9. Dans cette figure, une importance particulière est portée à la place du service dans la création de valeur de l'entreprise : d'une source de coût qu'il faut supporter pour bien vendre, en passant par un moyen de différenciation, jusqu'à une place au cœur de l'offre et de la valeur vendue au client. Certains auteurs parlent d'un déplacement du fournisseur de service dans la chaîne de création de valeur (Brax 2005) ou d'un repositionnement du point de création de valeur (« value offering offer ») (Holmström et al. 1999). Dans sa phase la plus poussée, le processus de servicisation conduit alors à une « co-crédation » de la valeur par le client et le fournisseur:

- Phase 1 : la première phase correspond à la situation initiale de l'entreprise. Dans ce modèle économique, la valeur est portée par le produit, et les services sont considérés comme des centres de coûts (exemple du service maintenance) ;
- Phase 2 : la deuxième phase repose sur un modèle économique d'offre élargie ou de produit étendu. Ce modèle économique répond à une problématique de forte concurrence dans une économie de marché mondialisée et dynamique, où les clients ont accès à différents produits venant des quatre coins de la planète. (Thoben et al. 2001) décrivent le concept de produit étendu comme un moyen d'ajouter de la valeur à l'offre de produit de base par l'intégration de services. Dans cette offre, le service n'est plus un centre de coût, mais un moyen de différenciation. Les services pouvant être associés aux produits ont été listés par (Neely 2007) ;
- Phase 3 : la dernière phase de ce processus est de considérer à la fois le produit et les services qui l'accompagnent comme sources principales de valeurs. Une réflexion est menée dès la phase de conception sur ce système produit-service (PSS) dont la valeur est tirée de l'usage du produit. Le concept PSS décrit l'offre combinée de produits et de

services qui, ensemble, répondent aux exigences et aux attentes des clients (Mont 2002). La création de valeur repose sur l'utilisation du produit et donc sur ses fonctionnalités. Le client n'est pas dans l'obligation de posséder le produit et l'entreprise est, par conséquent, en charge contractuellement d'assurer une disponibilité et une fonctionnalité de son produit (Baines et al. 2007).

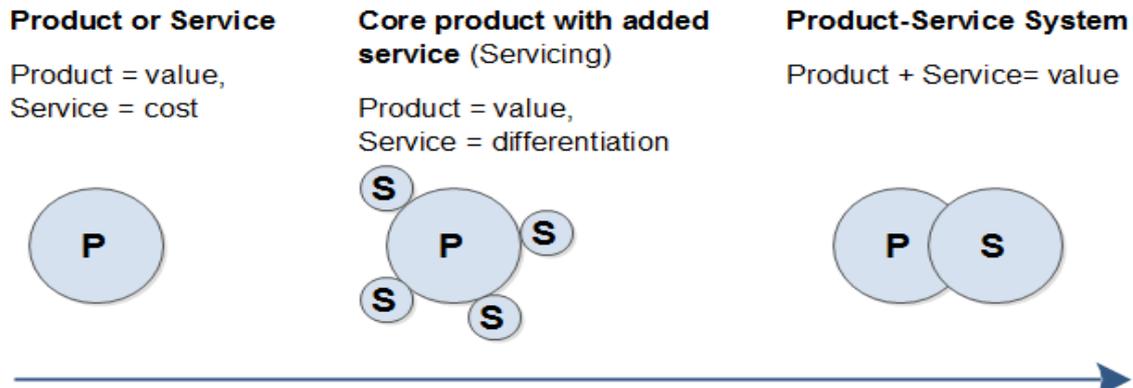


Figure 9 Processus de servicisation (Vandermerwe & Rada 1988).

(Grönroos 2007) a proposé un modèle pour le développement d'une nouvelle offre orientée service. Ce modèle est appelé CSS (Conceptualizing, Systematizing, Servitizing). Ainsi l'auteur met l'accent sur la nécessité de réadapter les processus de l'entreprise lors de la servicisation. La Figure 10 nous montre le modèle CSS :

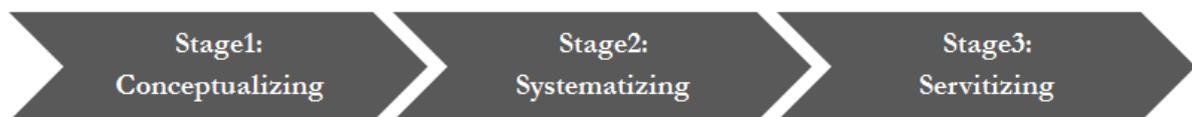


Figure 10 Modèle de servicisation CSS (Grönroos 2007)

- **Etape 1 Conceptualizing:** Dans cette étape, il s'agit de se questionner sur les clients de l'entreprise, leurs besoins, l'offre en services et produit que pourrait proposer l'entreprise, les processus de réalisation de services et la relation client-fournisseur.
- **Etape 2 Systematizing:** Cette étape pose les questions sur les ressources et processus nécessaires pour accompagner l'offre proposée par l'entreprise. Il s'agit alors de :
 1. déterminer les ressources et les processus nécessaires pour soutenir les activités et les processus liés à l'offre conceptualisée dans l'étape 1 ;
 2. gérer, organiser et coordonner les activités des différentes ressources et les différents processus qui constituent l'offre ;
 3. analyser la flexibilité des ressources et des processus.
- **Etape 3 Servitizing:** Dans cette dernière étape, l'entreprise se questionne sur la connaissance, la compétence et les capacités des ressources physiques, du système et des infrastructures à répondre aux exigences des clients.

La Figure 11 donne une autre vision de l'approche CSS en prenant en considération les besoins de chaque étape. Notons que ce modèle reste assez générique et qu'il faut avoir un modèle

conceptuel un peu plus détaillé pour pouvoir comprendre les mécanisme inhérents à la transition et proposer un modèle d'aide à la décision sans ambiguïté.



Figure 11 Modèle de servicisation CSS détaillé (Grönroos 2007)

8 Problématiques liées à la servicisation

Lorsqu'une entreprise souhaite changer de modèle économique, des réticences et des problématiques au niveau stratégique, tactique et opérationnel s'expriment. La servicisation n'échappe pas à cette règle, et il est même plus complexe et plus difficile de répondre à ces problématiques dans le contexte de transition. Ceci est dû principalement au manque de maturité des outils d'aide à la décision disponibles dans la littérature (Atos Consulting 2011) mais surtout à la complexité du contexte : formalisation des objectifs, contraintes et cultures des entreprises, vision de la notion de service. C'est ainsi que plusieurs auteurs ont essayé d'analyser les problématiques liées à la transition à partir des cas d'études concrètes. On trouve ainsi les travaux de (Oliva & Kallenberg 2003) qui ont étudié 11 entreprises, ceux de (Brady et al. 2005) qui ont travaillé sur 6 entreprises. Des conclusions communes à différentes études affirment que le passage d'un modèle économique transactionnel basé sur la propriété du bien vers un modèle économique relationnel basé sur l'usage des biens génère, inéluctablement, des défis en gestion tant au niveau infrastructurel, organisationnel, opérationnel et culturel de l'entreprise (Martinez et al. 2010) (Oliva & Kallenberg 2003) (Brady et al. 2005) (Baines et al. 2009) (Almeida et al. 2008).

8.1 Problématiques de transition selon Martinez

Dans les travaux de (Martinez et al. 2010), les auteurs identifient cinq grandes thématiques de la problématique de servicisation (Figure 12)

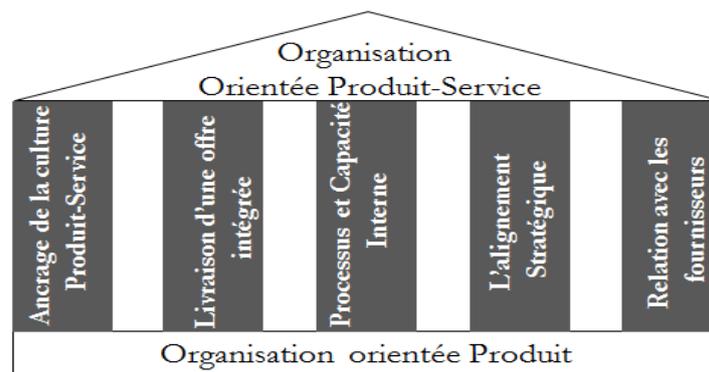


Figure 12 Différentes problématique lors de la servicisation, figure adaptée de (Martinez et al. 2010)

Ancrage de la culture Produit-Service: La littérature sur le service et la servicisation met l'accent sur l'importance de la culture orientée service pour la réussite de l'entreprise. On y retrouve des auteurs comme (Berry 1995) (Davidow & Uttal 1989) (Baines et al. 2007) qui évoquent ce défi culturel. Cela se traduit par une transition de la vision « centrée produit » de

L'entreprise et ses acteurs vers une « vision service » et une « vision client ». Il est donc question de sensibiliser et former les acteurs de l'entreprise à l'orientation et à la culture service, de trouver les bonnes compétences pour mener à bien le processus de servicisation (Atos Consulting 2010).

Livraison d'une offre intégrée: la problématique de livraison d'une offre intégrée pose la problématique de compétence, de gestion des ressources et de la relation client. Ceci est dû au fait que le personnel sera, a fortiori, d'avantage exposé au client (Martinez et al. 2010). (Baines et al. 2009) proposent des indicateurs pour la livraison et réalisation du service (le coût du produit pendant son cycle de vie, la conformité du produit et la livraison du service, la réactivité du système, la conformité aux besoins des clients).

Processus et capacité internes: une prestation de service ne peut être efficace sans une capacité interne suffisante. Ainsi sans l'infrastructure nécessaire, l'entreprise ne peut fournir le service à ses clients d'une manière efficace (respect de ses engagements) (Martinez et al. 2010). L'entreprise doit acquérir de nouveaux savoir-faire et des capacités de contact (Brady et al. 2005). La gestion classique des capacités se base sur un taux d'utilisation. Dans le cas d'offre de services, cette gestion est plus compliquée, le taux d'utilisation dépend des besoins des clients et l'entreprise doit être prête à répondre rapidement à des pics de demande et des demandes imprévues (Baines et al. 2009).

L'alignement stratégique : Ce défi concerne la mise en commun d'un projet à tous les acteurs de l'entreprise, ainsi partager la même vision du service, avoir la même mentalité orientée service et ainsi permettre à un prestataire de services de penser comme un client (Martinez et al. 2010) ; les acteurs et ressources de l'entreprise doivent maîtriser la communication, être patients et être capables de raisonner comme le client. L'entreprise a besoin de nouvelles visions, valeurs et croyances (Martinez et al. 2010) (Baines et al. 2009) (Brady et al. 2005).

Relation avec les fournisseurs : Lors de la transition vers une offre de services, une plus grande relation doit être créée non seulement entre l'entreprise et ses clients mais entre le client et ses fournisseurs (Martinez et al. 2010). Ces relations peuvent freiner ou faciliter la servicisation. Elle permettent aussi d'acquérir un savoir-faire dans la contractualisation, les coentreprises et le partage des risques (Martinez et al. 2010) (Baines et al. 2009).

Au-delà des problématiques déjà citées et structurées par Martinez, nous constatons que le noyau central des problématiques de servicisation est lié à la difficulté d'appréhender le passage d'un modèle économique basé sur une transaction et un échange ponctuel vers un modèle d'affaires basé sur le relationnel et le contact avec le client (Oliva & Kallenberg 2003) (Brady et al. 2005) (Baines et al. 2009). Ce changement impacte ainsi d'une manière considérable l'organisation et la structure des entreprises mais aussi leur gestion. Nous retrouvons aussi des réticences des clients qui auront du mal à passer de la logique de possession à la logique de partage et d'usage (Mont 2001). L'essentiel des problématiques et contributions recensées dans la littérature ont trait à des problématiques stratégiques (décisions à long terme). Les problématiques de conception (Maussang-Detaille 2008) (Morelli 2002) (Maussang et al. 2007) (Vijaykumar et al. 2012) (Alix 2010), de planification stratégique (Tukker 2004) (Pellegrin et al. 2011) (Gebauer et al. 2010), d'analyse des barrières et motivations de la servicisation (Bianchi et al. 2009) et d'analyse des risques des processus décisionnels lors de la transition (Dahmani et al. 2014) sont les problématiques les plus traitées dans la littérature. On peut même dire que les études et

contributions dans le domaine de la servicisation ont, pour la plupart, été faites pour répondre à des questions stratégiques. Ceci s'explique par le fait que la servicisation constitue une stratégie d'innovation et de changement pour l'entreprise et les premiers besoins de conceptualisation et d'aide à la décision (compréhension) sont plutôt axés sur le niveau stratégique.

9 Conclusion : positionnement par rapport aux différents concepts

Dans le cadre de la thèse, nous nous intéresserons à la modélisation et l'évaluation de la performance d'une transition d'une entreprise vers la vente de fonctionnalités, caractérisée par une offre d'un système produit-service (PSS). Plusieurs définitions du terme « service », et des PSS ont été proposées dans la littérature. Nous adopterons le point de vue exprimé par des auteurs comme (Baines et al. 2007), (Baines et al. 2009) et (Mont 2002). Nous considérerons ici le PSS comme une offre commerciale globale basée sur un bien matériel et l'adjonction d'un certain nombre de services associés à son cycle de vie, le tout permettant de garantir une performance durable et une création de valeur d'usage pour le client.

Dans nos travaux de recherche, nous définissons la transition vers l'offre PSS comme un processus de changement de modèle économique qui s'accompagne d'une rupture graduelle avec l'économie traditionnelle et s'oriente vers une offre PSS. Un tel changement de modèle économique affecte inéluctablement l'organisation de l'entreprise : de la conception de son offre commerciale à l'adaptation de son système productif. Nous avons donc une transformation à la fois du modèle économique et du système industriel. Ces deux transformations seront prises en considération lors de l'aide à la décision : l'offre commerciale de l'entreprise doit être adaptée à ses capacités organisationnelles (structurelles et infrastructurelles).

Au niveau des capacités organisationnelles, nous allons nous intéresser à la gestion des capacités en ressources humaines. Ce levier est à la fois identifié au niveau des problématiques liées à la servicisation (Section 8) mais aussi une appréhension de la part des industriels en liens avec le projet ServInnov. Un état de l'art sur la gestion des capacités sera abordé dans le chapitre 3.

Par ailleurs, l'évaluation de la performance que nous proposons se limitera à la performance industrielle. Nous n'allons pas aborder l'évaluation environnementale et sociale. Celles-ci étant traitées par d'autres compétences dans le projet ServInnov (Laboratoire G-SCOP). La finalité du projet est l'intégration des différentes propositions et apports relatifs à cette problématique dans une démarche et un outil global d'aide à la décision pour la servicisation.

Ayant positionné nos travaux par rapport aux concepts clés et au contexte de servicisation. Nous allons présenter un autre chapitre d'état de l'art sur la modélisation, la simulation et l'aide à la décision. Ce chapitre nous permettra de présenter la problématique de modélisation et simulation dans un contexte générique pour ensuite discuter des différents choix de modélisations et de simulations effectuées dans le contexte PSS. Nous terminerons ce chapitre par un état de l'art sur la gestion des capacités dans le contexte PSS.

Chapitre 3

Etat de l'art en modélisation, simulation et aide à la décision

1 Introduction

La modélisation d'une réalité, quelle qu'elle soit, débute toujours par des réponses claires à des questions préliminaires. Que cherche-t-on à comprendre et à modéliser ? Dans un contexte d'aide à la décision, quelles sont les décisions auxquelles on s'intéresse ? Quelles sont les frontières du système étudié et que veut-on étudier dans ce système ? Quels sont les éléments les plus importants à regarder, à développer ?... Ces questions permettront de poser un cadre et de choisir le focus et le niveau de détail à appliquer sur le système réel afin de bien le cerner.

La modélisation des systèmes peut être faite pour divers raisons et objectifs que nous allons voir dans ce chapitre. Dans le cadre de nos travaux, la modélisation est faite afin d'aider à la décision, et donc implicitement pour une évaluation de la performance. L'évaluation de la performance en génie industriel peut être de deux natures différentes : a priori ou a posteriori (Frein 1998). L'évaluation a priori consiste à évaluer la performance d'un système qui n'existe pas encore (système futur) ou un système existant mais sur lequel on voudrait apporter des modifications structurelles, organisationnelles ou de mode de gestion. Il s'agira alors de « concevoir la performance » (Burlat 2002). L'évaluation a posteriori, quant à elle, s'effectue sur des systèmes réels sur une période de temps donnée, et avec des mesures réelles de la performance. Il s'agira alors de « piloter par la performance » (Burlat 2002).

Le contexte de la thèse est celui de l'aide à la décision pour la servicisation. A travers une démarche de modélisation mobilisant des modèles conceptuels et des modèles de simulation, nous souhaitons accompagner l'entreprise jusqu'au niveau opérationnel dans la mise en place des décisions permettant une meilleure prise en compte des nouvelles contraintes engendrées par la servicisation. Nous nous situons dans une approche d'aide à la décision par simulation, ainsi nous pourrons évaluer la performance a priori de l'entreprise. A priori parce que les décisions ne sont pas encore appliquées et parce que les mesures faites par simulation ne seront pas forcément celles qu'on obtiendrait réellement. Ainsi nous pourrons tester un éventail de leviers de décisions pour éclairer le décideur sur l'impact de chaque décision sur le comportement de l'entreprise et sa performance.

Ce chapitre s'intéressera à la modélisation et à la simulation des systèmes. Nous allons présenter les principes génériques de la modélisation et de la simulation des systèmes. Cela nous permettra de comprendre et d'analyser l'apport de la modélisation et de la simulation pour une aide à la décision. Nous allons ensuite faire un focus sur la modélisation d'entreprises (système entreprise) et nous intéresser aux différentes contributions en modélisation et simulation dans le contexte

PSS. Nous terminerons ce chapitre par un état de l'art sur la gestion des capacités dans le contexte PSS.

2 Démarche générique de modélisation et simulation pour l'aide à la décision

2.1 Modèle : représentation plus ou moins conforme de la réalité.

La réalité qui nous entoure est complexe. Vouloir comprendre cette réalité nécessite une construction de modèles qui permettent une compréhension totale ou partielle suivant un objectif d'analyse, un point de vue et un focus que le modélisateur définit au préalable. Ainsi et comme l'affirme si bien Paul Valéry, « Nous ne raisonnons que sur des modèles ». Le modèle est donc une représentation « simplifiée » et « intelligente » de la réalité, selon la question posée sur celle-ci. Nous parlons alors d'« abstraire de la réalité une description d'un système dynamique » (Fishwick 1994) afin de pouvoir extraire de la connaissance grâce à une démarche scientifique permettant d'expliquer (partiellement) la réalité et le système étudié.

Ainsi, une équation mathématique, un schéma, un tableau de données, un simulateur... pourront constituer des modèles ; tous ces objets et outils permettent une représentation d'un système, d'une réalité par des symboles compréhensifs pour l'homme. Ainsi, et pour répondre à des questions sur un phénomène, la nature d'un système, ou bien son comportement, il est nécessaire de construire un modèle de ce phénomène et système, et c'est à travers ce modèle que l'on pourra construire une connaissance et un savoir sur le phénomène en question. (Gleick 1989) déclare: « Les sciences n'essaient pas d'expliquer; c'est tout juste si elles tentent d'interpréter ; elles font essentiellement des modèles. Par modèle, on entend une construction mathématique qui, à l'aide de certaines interprétations verbales, décrit les phénomènes observés. La justification d'une telle construction mathématique réside uniquement et précisément dans le fait qu'elle est censée fonctionner ». Le modèle doit donc « avoir un caractère de ressemblance avec le système réel, constituer une simplification du système réel et être une idéalisation du système réel ». (Popper 1972). De cette exigence naît une équation difficile à résoudre lors de la construction d'un modèle, qui doit être à la fois une simplification de la réalité et une représentation juste, suffisante et claire de celle-ci.

Le Moigne considère les modèles comme « les représentations intelligibles, artificielles et symboliques, des situations dans lesquelles nous intervenons » (Le Moigne 1990). Les modèles représentatifs de la réalité et des systèmes étudiés peuvent être de différentes catégories. Ainsi (Geoffrey 1978) distingue les modèles par la nature du système étudié : il différencie notamment les modèles mathématiques (régis par des équations mathématiques), des modèles physiques (régis par des équations spécifiques liées aux lois de la physique, par exemple la vitesse). Il distingue aussi les modèles par la nature du comportement et de l'évolution du système dans le temps. Ainsi, il distingue les modèles statiques (comportement indépendant du temps, ou comportement à des instants d'équilibre global du système), des modèles dynamiques (comportement dépendant du temps). Par ailleurs, les modèles mathématiques ont été distingués selon l'approche de résolution qui peut être analytique (utilisant des théorèmes mathématiques)

ou numérique (utilisant l'outil informatique pour résoudre le modèle, comme les techniques de simulation). Une autre distinction est faite sur la nature des variables du modèle (stochastique et déterministe). D'autres types de modèles ont également été identifiés dans la littérature, parmi lesquels les modèles continus (équation différentielle) et discrets (réseaux de Pétri...), les modèles sémantiques (Fishwick 1994)(Zeigler et al. 2000) et les modèles de calcul (Lee 2002). Les différents types de modèles sont représentés sur la Figure 13.

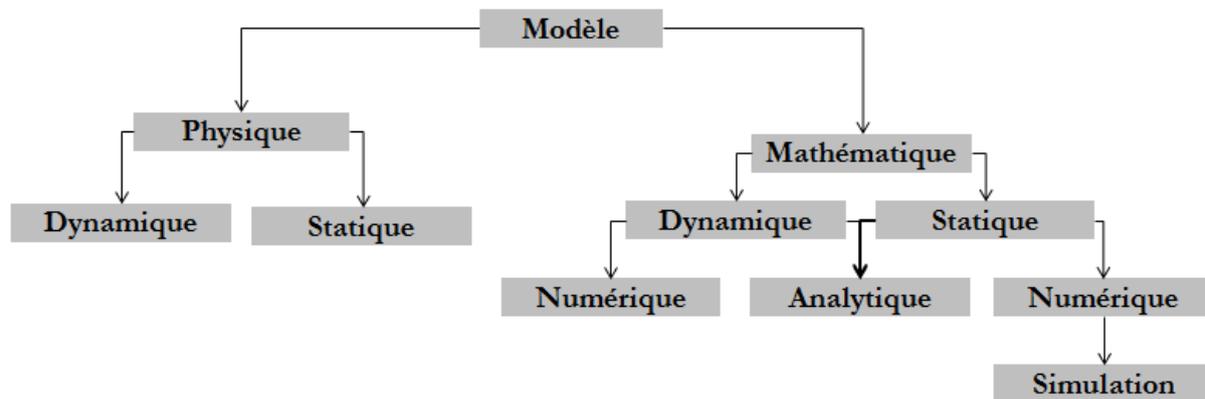


Figure 13 Différents types de modèles (Geoffrey 1978)

D'autres auteurs ont proposé une typologie des modèles selon d'autres critères de classification. Par exemple, (Tremblay 2003) propose une décomposition des modèles par rapport à leur approche de résolution des problèmes. Il distingue ainsi les méthodes et approches analytiques dont l'objectif est la décomposition d'un système complexe en un ensemble de sous-systèmes simples à résoudre et les méthodes et approches systémiques dont le focus est le système dans sa globalité, lorsqu'une décomposition de celui-ci n'étant pas possible ou souhaitable afin de maintenir la nature et le bon fonctionnement du système. L'utilisation de ces deux approches dépend du système étudié : ainsi un système compliqué peut être simplifié par une approche analytique et les systèmes complexes pourront être étudiés par une approche systémique en s'appuyant sur l'outil de simulation (Le Moigne 1990).

Nous constatons la difficulté de donner une définition universellement acceptée à la notion du modèle, celui-ci étant intimement lié à la manière de percevoir la réalité : la réalité peut-être perçue de différentes manières, parfois antagonistes, selon les compétences et les domaines de recherche variés qui s'y intéressent. Ainsi nous nous retrouvons avec des définitions de la notion de modèle propres au champ d'étude concerné. Dans le domaine de la modélisation et simulation des systèmes productifs, nous pouvons ainsi définir le modèle comme étant la représentation simplifiée et plus ou moins détaillée du système productif afin d'étudier son comportement et d'évaluer différentes stratégies et règles de gestion de ce dernier. Les systèmes productifs sont confrontés à un environnement plus ou moins incertain.

2.2 De la réalité au modèle: nécessité d'une démarche de modélisation et simulation

Construire un modèle sous-entend implicitement et explicitement l'utilisation de celui-ci pour la compréhension et l'étude d'un système. Le modèle a donc comme raison d'être son (sa)

(ré)utilisation afin d'analyser, de comprendre et d'élaborer de la connaissance sur le système étudié. Le processus d'élaboration de ce modèle est appelé dans la littérature « démarche ou méthodologie de modélisation ». Le mot démarche désigne ainsi une volonté, des étapes, un processus intelligent et intelligible permettant d'aboutir à un modèle représentatif du système d'étude. Pour définir la modélisation, (Teggar 1996) met l'accent sur les liens entre le modèle et le système étudié, autrement dit, l'aspect représentation d'une réalité à travers le modèle. En effet pour lui, « la modélisation est la relation entre le système réel et le modèle qui définit comment et quelles parties d'un système seront représentées de façon à ce que les données générées par le modèle soient identiques aux données du système réel » (Teggar 1996). Par ailleurs, Le Moigne adopte, pour sa définition, le même point de vue que Teggar en y ajoutant l'aspect de l'utilisation faite par le modèle; il estime alors que « la modélisation est également une action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène : raisonnement visant notamment à anticiper les conséquences de ces projets d'actions possibles » (Le Moigne 1994). Toujours dans la même perspective que Le Moigne, (Tremblay 2003) estime que « le modèle a une fonction de représentation et une fonction de simulation ». Nous souscrivons à cette double fonction du modèle et de la modélisation, une fonction de représentation et une fonction d'utilisation du modèle pour une étude et la construction de nouvelles connaissances.

2.2.1 Le modèle comme support de description de la réalité - Fonction de représentation -

En partant d'un système à modéliser, la fonction de représentation et de description permet de « structurer une certaine connaissance » (Marques 2010) de ce système au moyen de « composition de symboles » (Le Moigne 1994). Cette représentation et description de la réalité n'est pas exhaustive, elle ne s'intéresse qu'à une partie de la réalité, la partie que le modélisateur estime être la plus pertinente et la plus importante pour son analyse. Ainsi pour réussir cette étape de retranscription et de « copie », il faut savoir aborder le système avec un point de vue et un niveau de détail correspondant aux besoins d'analyses, de manière à cerner la question posée avec une juste et suffisante simplification. Le modèle construit ne va pas contenir toutes les informations liées au fonctionnement du système mais contiendra les informations jugées nécessaires et pertinentes par le modélisateur afin de comprendre le fonctionnement du système. Comme l'affirme (Tremblay 2003), « dans sa fonction de représentation, le modèle ne saurait représenter toute la réalité. Il ne peut représenter qu'une partie de la réalité, celle qui est perçue comme pertinente ». Cette phase intermédiaire entre le système réel et le modèle représentatif de cette réalité est appelée « l'abstraction ». Elle permettra à la fois de simplifier la réalité et de réduire la taille du modèle. Elle assure également la conformité et la représentativité du modèle par rapport au système réel étudié compte tenu d'un contexte et d'un cadre expérimental. Le cadre expérimental précise le champ et le cadre de validation du modèle (Marques 2010). L'abstraction est donc une « simplification valide » (Zeigler et al. 2000) d'un système réel qu'on voudrait étudier. Ce besoin de simplification est né du fait de la complexité des systèmes réels. L'abstraction peut être définie comme étant une « technique permettant de simplifier un modèle conceptuel tout en maintenant la validité des résultats de simulation vis à vis de la problématique à l'origine du besoin de simulation » (Frantz 1995) ou comme « une méthode ou algorithme

appliqué à un modèle pour en réduire la complexité tout en préservant sa validité dans un cadre expérimental donné » (Zeigler et al. 2000). Par rapport à une réalité et un système donné, il peut y avoir plusieurs modélisations et modèles représentatifs possibles. Chacun de ces modèles utilise une abstraction et un niveau de détail particulier. Un travail sur la classification et l'énumération des différentes techniques d'abstraction pouvant être utilisées lors de la construction d'un modèle conceptuel ou représentatif a été développé dans la littérature. On retrouve ainsi la décomposition et la typologie proposées par (Frantz 1995) :

- Abstraction des comportements internes au modèle: ce type d'abstraction se focalise sur des éléments (variables, processus, les entités...) internes au modèle. Les interactions peuvent ainsi se faire sur plusieurs critères, par exemple : le temps, l'état, l'entité... ;
- Abstraction des limites du modèle: ce type d'abstraction se focalise sur les limites du modèle, pour réduire le focus et la portée du modèle. Par exemple par réduction de l'espace des variables, réduction des états d'une entité... ;
- Abstraction sur la formulation du modèle: ce type d'abstraction permet la simplification de la façon avec laquelle le modèle a été formulé, par exemple choix d'une fonction de probabilité, interpolation linéaire...etc.

Dans leur ouvrage, (Zeigler et al. 2000) proposent une classification des techniques d'abstractions pouvant être utilisées. Le modélisateur peut faire appel à une ou plusieurs de ces techniques pour représenter une réalité. Les auteurs ont proposé une typologie de 5 grandes familles de techniques:

- Agrégation : technique permettant de regrouper un ensemble d'entités du système (composants du système) en une seule entité dont le comportement est équivalent au comportement des différentes sous entités ;
- Omission : technique permettant de négliger certaines entités (composante ou variable du système) parce qu'elles n'ont pas une forte influence sur l'analyse ;
- Transformation de type stochastique : technique permettant de remplacer la description de certains phénomènes (variables) déterministes par une description stochastique. Cela permet de rapprocher un phénomène par une loi aléatoire (stochastique) et de ne pas avoir à collecter et traiter un ensemble important de données ;
- Transformation de type déterministe : technique permettant de remplacer la description de certains phénomènes (variables) stochastiques par une description déterministe ;
- Transformation du formalisme : technique correspondant à un changement au niveau du formalisme utilisé pour la représentation du système (faire de la correspondance entre un formalisme et un autre).

(Marques 2010) propose un « mapping » entre les deux typologies citées précédemment (Tableau 4). Il considère ainsi que les agrégations de (Zeigler et al. 2000) correspondent aux abstractions sur les comportements du système de (Frantz 1995), et les omissions correspondent aux abstractions sur les limites du système. Les techniques relatives à la reformulation du modèle dans la classification de (Frantz 1995) sont plus détaillées dans la typologie proposée par (Zeigler et al. 2000).

| Classification de (Zeigler et al. 2000) | Classification de (Frantz 1995) |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------|
| Agrégation | Modification des comportements internes |
| Omission | Modification des limites de modèles |
| Transformation de type stochastique | Modification dans la formulation du modèle |
| Transformation de type déterministe | |
| Transformation de formalisme | |

Tableau 4 Mapping entre la typologie d'abstraction de Zeigler et al et Frantz (Marquès 2010)

2.2.2 Le modèle comme moyen d'étude de la réalité - Fonction de simulation -

La fonction de description et de représentation d'un modèle est parfois suffisante pour un modélisateur, notamment dans le cas où le but de la modélisation est l'explicitation de la connaissance et la visualisation (par des symboles) du système étudié. Néanmoins, dans certaines situations, la représentation du système n'est pas suffisante pour aboutir à une construction de connaissance concernant le fonctionnement du système. Ainsi, nous nous retrouvons dans une nécessité de faire « fonctionner » le modèle représentatif. Cette nécessité correspond à la fonction de simulation des modèles issus de la démarche de modélisation. Celle-ci permet de faire fonctionner le modèle de simulation pour reproduire le fonctionnement et le comportement du système et ainsi l'utiliser afin de comprendre et d'anticiper des comportements dans un contexte précis et par rapport à une problématique préalablement décrite. Nous retrouvons ainsi tous ces éléments dans la définition de (Tremblay 2003) estimant que « dans sa fonction de simulation, le modèle est censé reproduire un processus, [...] elle permet la reproduction automatique des phénomènes, ou le traitement automatisé d'une grande quantité de données ». La fonction de simulation est donc un moyen d'étude de la réalité qui complète la description de celle-ci par un modèle représentatif. En effet, lorsqu'une expérimentation concrète et réelle du modèle représentatif n'est pas possible pour des raisons techniques, financières, déontologiques... (Rothenberg 1986), la simulation donne l'opportunité de tester et de faire fonctionner le modèle représentatif au travers d'un modèle de simulation et ainsi de reproduire et analyser le comportement du système. Pour (Hill 1993) « la simulation consiste à faire évoluer une abstraction d'un système au cours du temps afin d'aider à comprendre le fonctionnement et le comportement de ce système et à appréhender certaines de ses caractéristiques dynamiques dans l'objectif d'évaluer différentes décisions ». Avant Hill (Shannon 1975) a considéré que la simulation est « la construction d'un modèle d'un système réel et la conduite d'expériences sur ce modèle afin de comprendre le comportement du système et d'en évaluer les différentes stratégies [...] possibles d'actions ». Il apparaît clairement que la simulation d'un système ne peut pas être conçue indépendamment de sa modélisation. Ainsi une importante contribution pour théoriser et conceptualiser les notions liées à cette discipline est faite par (Zeigler 1972), sous l'appellation de la théorie de la modélisation et de la simulation. Ses travaux sur la modélisation et la simulation ont été complétés par la collaboration du même auteur avec d'autres scientifiques, cette collaboration a donné lieu à un ouvrage référence dans ce domaine (Zeigler et al. 2000).

Dans le domaine de la gestion industrielle, la simulation est de plus en plus utilisée en tant qu'outil d'aide à la décision et d'aide au pilotage des systèmes (Habchi 2001). Elle peut être utilisée dans les différentes phases de conception et d'exploitation des systèmes productifs. Elle peut ainsi couvrir tous les flux de l'entreprise (flux physique, informationnel et décisionnel). Elle peut également s'adapter aux différentes granularités, elle s'adapte ainsi au niveau de détail exigé

par le problème afin de permettre une étude et une expérimentation juste et pertinente du système par rapport aux problématiques posées : au niveau d'une machine, d'une ligne de production, d'un atelier, d'une usine, d'un réseau d'entreprise... Cette représentation peut également tenir compte de l'horizon de décision, en traitant des questionnements stratégiques (impact d'un nouveau produit, simulateur stratégique SAXSO de (Cumenal 1997), jusqu'aux questionnements opérationnels (impact des niveaux du stocks...), en passant par des questions d'ordre tactique (impact du programme de production...). La simulation permet aussi de prendre en considération l'incertitude par exemple par la notion d'aléas ainsi que les flux de décisions et informations en temps réel.

Le modèle de simulation est une composition d'entités informatiques ou informatisables qui ont un comportement et des caractéristiques propres (attributs statiques/variables) et sont en interactions (par échange ou transfert d'information) à travers des fonctions ou méthodes. Une entité d'un modèle de simulation est donc caractérisée par (Marques 2010) :

- **Des attributs** : un attribut est une caractéristique intrinsèque à l'entité, il peut être statique ou variable suivant que cette caractéristique change et évolue dans le temps. L'état d'une entité à un instant donné sera alors défini par les valeurs prises par ses attributs;
- **Des méthodes** : une méthode définit la capacité de l'entité à interagir avec d'autres entités. Il s'agit donc des différents comportements possibles de l'entité au regard de son environnement.

Les caractéristiques des entités du modèle de simulation dépendent fortement de la volonté du modélisateur, notamment en termes de niveau d'abstraction choisi. Le modélisateur peut ainsi considérer, par exemple, une entreprise comme une entité, ou encore il pourra se focaliser sur les différentes usines, ateliers, machines... le choix du niveau de détail et de l'approche d'abstraction affectent les caractéristiques (en termes d'attributs et méthodes) des entités constituant le modèle de simulation.

2.3 De la modélisation à la simulation : nécessité de la validation

La construction d'un modèle, qu'il soit représentatif ou de simulation, n'enlève en aucun cas l'aspect et la caractéristique « simplificatrice » et « artificielle » de celui-ci. En conséquence, la question de la validité du modèle construit par rapport au système dont il est l'image se pose. Le modèle est, comme nous l'avons souligné auparavant, construit par rapport à un contexte et un objectif précis ; le modèle peut être explicatif ou prédictif (Balin 2007). Suivant qu'il soit prédictif ou explicatif, la validation n'obéit pas aux mêmes exigences. En effet, pour les modèles explicatifs, notamment les modèles construits à des fins de simulation, la comparaison stricte entre les résultats de simulations et les données réelles peut s'avérer compliquée ; en effet, l'aspect multi-variables et la prise en compte de facteurs qualitatifs rendent délicate la comparaison (Le fur 1994) (Ferber 1997). Il s'agit plutôt de rechercher une « cohérence » des modèles testés avec des situations réelles, et non pas une « adéquation » quantitative (Balin 2007). Le modèle de simulation reste avant tout un modèle d'aide à la compréhension et « un outil de réflexion supplémentaire » (Marques 2010) permettant une bonne et meilleure compréhension du système. (Sargent 2000) donne quelques outils pouvant servir à la validation du modèle conceptuel :

vérification de propriétés mathématiques des données réelles (tests statistiques, établissement de moyennes, vérification de linéarité,...), avis d'experts,...

Une fois le modèle implémenté par un modèle de simulation, il est nécessaire de vérifier le « bon fonctionnement » et la cohérence des résultats du modèle de simulation. (Sargent 2000) propose quelques moyens parmi lesquels l'utilisation des ressources de débogage, l'utilisation de traces pour suivre pas à pas les états du système... Dans le cas où un modèle ne peut être ajusté et validé, le modèle sera considéré alors comme valide tant qu'il n'a pas été réfuté (Popper 1972). En effet, un tel modèle pourra permettre une avancée théorique sur le système étudié et ouvrir ainsi des voies à la formulation d'autres modèles plus performants (Hilborn & Mangel 1997).

2.4 Démarche de modélisation et de simulation

Après avoir vu les concepts clés liés à la modélisation, nous allons maintenant discuter des démarches de modélisation et de simulation proposée dans la littérature. Ces démarches permettent et assurent une rigueur lors d'un « projet » de modélisation, de simulation et d'aide à la décision. Des auteurs ont proposé des démarches, avec des étapes et phases à suivre, afin de mener à bien le processus de modélisation, de simulation et a fortiori d'expérimentation. Une démarche de modélisation et de simulation est constituée des éléments présentés précédemment (parfois, une démarche de modélisation ne va pas jusqu'à la simulation). Nous allons présenter quelques démarches de modélisation et simulation allant des démarches de modélisation et simulation de la moins détaillée à la plus détaillée.

Pour (Frantz 1995), la démarche de modélisation est constituée d'un modèle conceptuel et d'un modèle de simulation. En effet, à partir du système réel à étudier (en prenant en considération le contexte et les objectifs de l'étude), un modèle conceptuel de la réalité est construit par abstraction. Le modèle conceptuel doit être validé (représentons nous la réalité que nous souhaitons précisément étudier ?). Une fois le modèle conceptuel validé, vient la phase d'implémentation pour obtenir le modèle de simulation. Ce modèle doit être vérifié (le simulateur fonctionne-t-il correctement ?). Le modèle de simulation étant vérifié, vient alors la phase d'exploitation du simulateur avec les utilisateurs. Des simulations peuvent être menées jusqu'à obtenir des résultats satisfaisants ou une connaissance satisfaisante du système. La Figure 14 donne la vision de (Frantz 1995) d'une démarche de modélisation.



Figure 14 Démarche globale de modélisation et simulation d'après (Frantz 1995)

Dans une vision moins détaillée que celle de Frantz, (Zeigler et al. 2000) proposent une démarche de modélisation en deux phases. En effet à partir du système réel à étudier et compte tenu du cadre expérimental, les auteurs construisent un modèle représentatif du système. La transition de l'un à l'autre est appelée « relation de modélisation » dans laquelle sont incluses l'abstraction et la

validation du modèle représentatif. Une fois ce modèle de représentation construit, les auteurs construisent le simulateur (modèle de simulation) sur lequel les simulations peuvent être menées. L'interface entre modèle représentatif et modèle de simulation est appelée par les auteurs « relation de simulation ». Les auteurs se sont focalisés sur la phase de conception et d'implémentation de l'outil d'aide à la décision (ou d'aide à la compréhension) qui est le simulateur sans aborder la phase d'utilisation de celui-ci par un utilisateur (Figure 15).

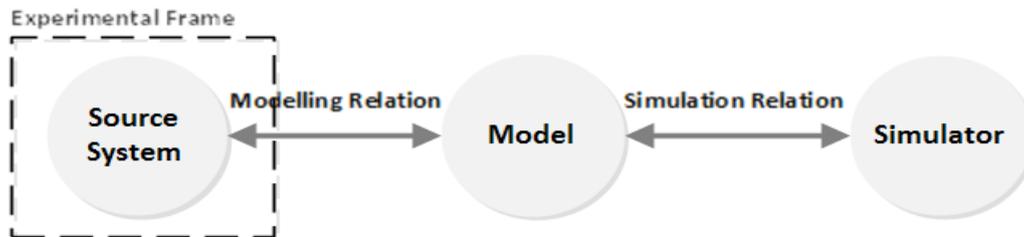


Figure 15 Les entités d'une démarche de modélisation et simulation d'après (Zeigler & al. 2000)

(Fishwick 1994) propose une autre démarche semblable à celle de (Zeigler et al. 2000) en considérant la démarche de modélisation et simulation comme un processus itératif et non linéaire. Il définit ainsi trois tâches fondamentales et fortement interdépendantes : (i) l'élaboration du modèle, (ii) l'exécution du modèle, (iii) l'analyse de l'exécution du modèle et des résultats obtenus.

Dans sa thèse, (Marques 2010) propose une vision d'une démarche de modélisation plus explicite. En effet, la frontière entre le modèle représentatif et le modèle de simulation est clairement établie (Figure 16). Une interface d'abstraction entre le système réel et le modèle représentatif est définie, il s'agit de la phase d'abstraction qui regroupe la perception, qui correspond à la modélisation effective du système réel en prenant en considération les objectifs d'analyse sous forme d'un modèle représentatif. Une validation du modèle représentatif par rapport au système réel est nécessaire. Une fois le modèle représentatif validé, l'auteur implémente ce modèle sous forme d'un modèle de simulation et l'interface entre les deux modèles correspond à l'implémentation (transcription dans un langage informatique et vérification du bon fonctionnement du modèle de simulation). La démarche de modélisation proposée prend en considération également l'exploitation du modèle de simulation par les décideurs, à travers une instantiation du modèle de simulation et une analyse des résultats.

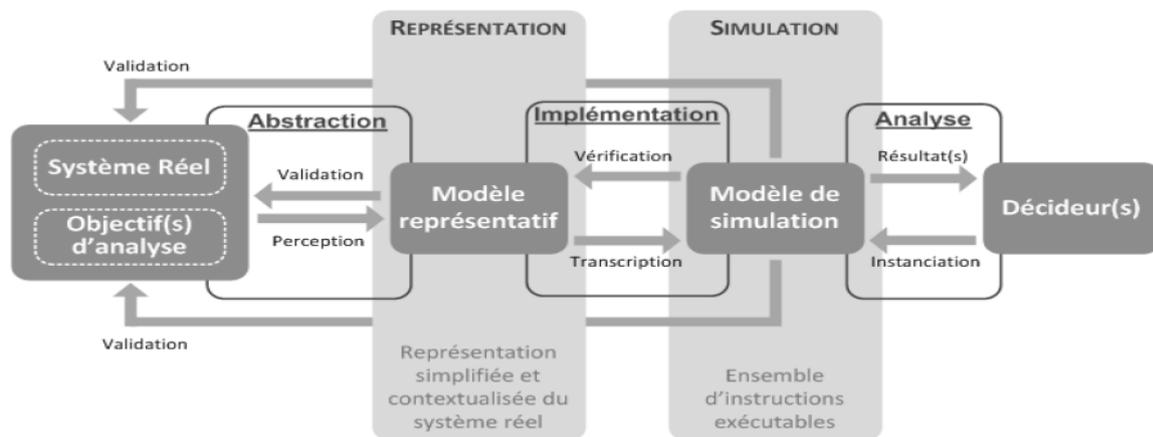


Figure 16 Démarche de modélisation et de simulation d'après (Marques 2010)

Shannon, quant à lui, a proposé une description plus détaillée des étapes de modélisation et de conception de la simulation (Shannon 1975)(Shannon 1998), illustrée par la Figure 17 :

- Définition du problème : définition du contexte, du cadre et des objectifs de l'étude ;
- Planification du projet : mise en place des ressources humaines et matérielles pour mener à bien la démarche de modélisation et de simulation et l'étude du système (entreprise) ;
- Définition du système : choix d'abstraction que l'on fait de notre système, quels sont les aspects pertinents du système. Le modèle sera alors élaboré en fonction des objectifs fixés ;
- Formulation du modèle conceptuel : construction du modèle conceptuel (ou représentatif). Ce modèle sera constitué des différentes entités qui composent le système (composants, variables, interactions entre composants, etc.) ;
- Analyse préliminaire de l'expérimentation : constitution d'un cadre précis pour l'expérimentation (paramètres à étudier, les différentes variables et valeurs à tester et étudier). Cette phase permet aussi de fixer le nombre d'expériences et la durée de chaque expérience ;
- Constitution des paramètres initiaux : détermination des données nécessaires à la simulation et la collecte de celles-ci. Ces données seront utilisées pour paramétrer le modèle de simulation.
- Transcription du modèle : implémentation du modèle de simulation sur une machine informatisée.
- Vérification et validation : vérification du bon fonctionnement du simulateur, et ensuite validation des résultats obtenus en les mettant en relief par rapport à la réalité du système ;
- Analyse finale de l'expérimentation : Cette étape permet une dernière analyse des conditions de l'expérimentation (notamment par rapport à l'analyse préliminaire de l'expérimentation) ;
- Expérimentation : expérimentation et simulation effective. Celles-ci permettent la collecte des résultats de la simulation et les tests de sensibilité du modèle par rapport aux paramètres initiaux ;
- Analyse et interprétation des résultats : analyse des résultats obtenus par les simulations effectuées, il s'agit également d'interpréter les résultats par rapport aux hypothèses et au contexte du modèle de simulation ;

- Utilisation et documentation : capitalisation des conclusions des analyses d'une part, documentation du modèle de simulation et du simulateur pour une éventuelle réutilisation d'autre part.

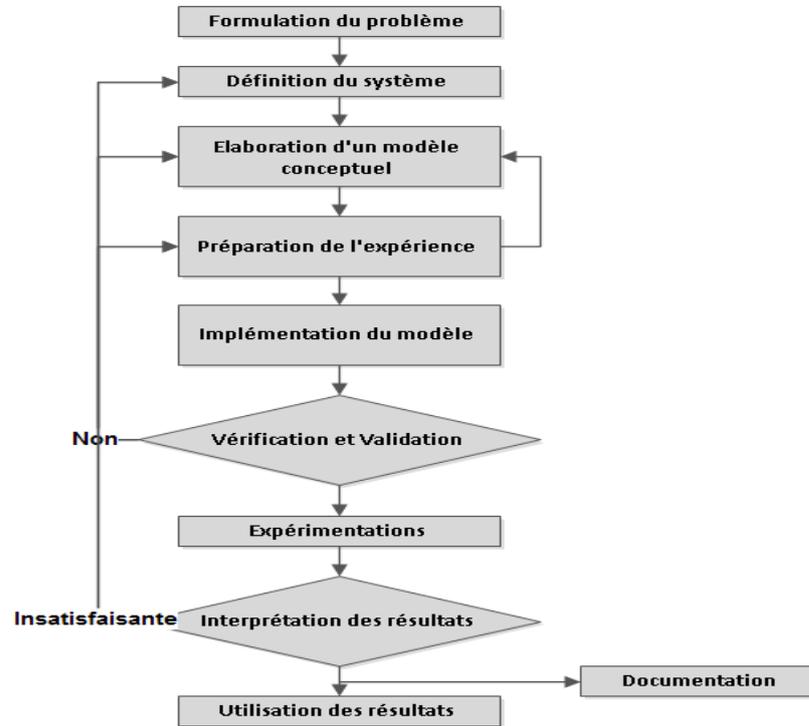


Figure 17 Démarche de modélisation et simulation d'après (Shannon 1975)

Une démarche de modélisation et de simulation semblable à celle proposée par (Shannon 1975) a été présentée par (Banks et al. 1996). Les auteurs structurent celle-ci en quatre grandes phases (Figure 18):

- **Observation et choix d'analyse** : cette phase permet de définir le problème et le contexte à l'origine de l'analyse, elle correspond dans la proposition de Shannon aux étapes de définition du problème, planification projet et de définition du système ;
 - **Construction de modèles** : construction du modèle conceptuel (« model conceptualization ») et du modèle de simulation (« model translation ») qui est obtenu par une instanciation du modèle conceptuel avec des données réelles collectées. Cette phase correspond, dans la démarche de Shannon, aux étapes de formulation du modèle conceptuel, analyse préliminaire de l'expérimentation, constitution des paramètres initiaux, transcription du modèle et vérification et validation ;
 - **Expérimentation et exécution du modèle** : mise en œuvre et exécution du modèle de simulation incluant l'analyse des résultats. Cette phase correspond aux étapes d'expérimentation et d'analyse et interprétation des résultats ;
- Implémentation et documentation** : Cette phase correspond, d'une part, à la documentation et au reporting des résultats de la démarche de modélisation et de simulation et, d'autre part, aux recommandations d'emploi. Ces recommandations sont tributaires de la frontière et du contexte du modèle ainsi que sa validité. Cette phase correspond à l'étape d'utilisation et de documentation de la démarche proposée par (Shannon 1975).

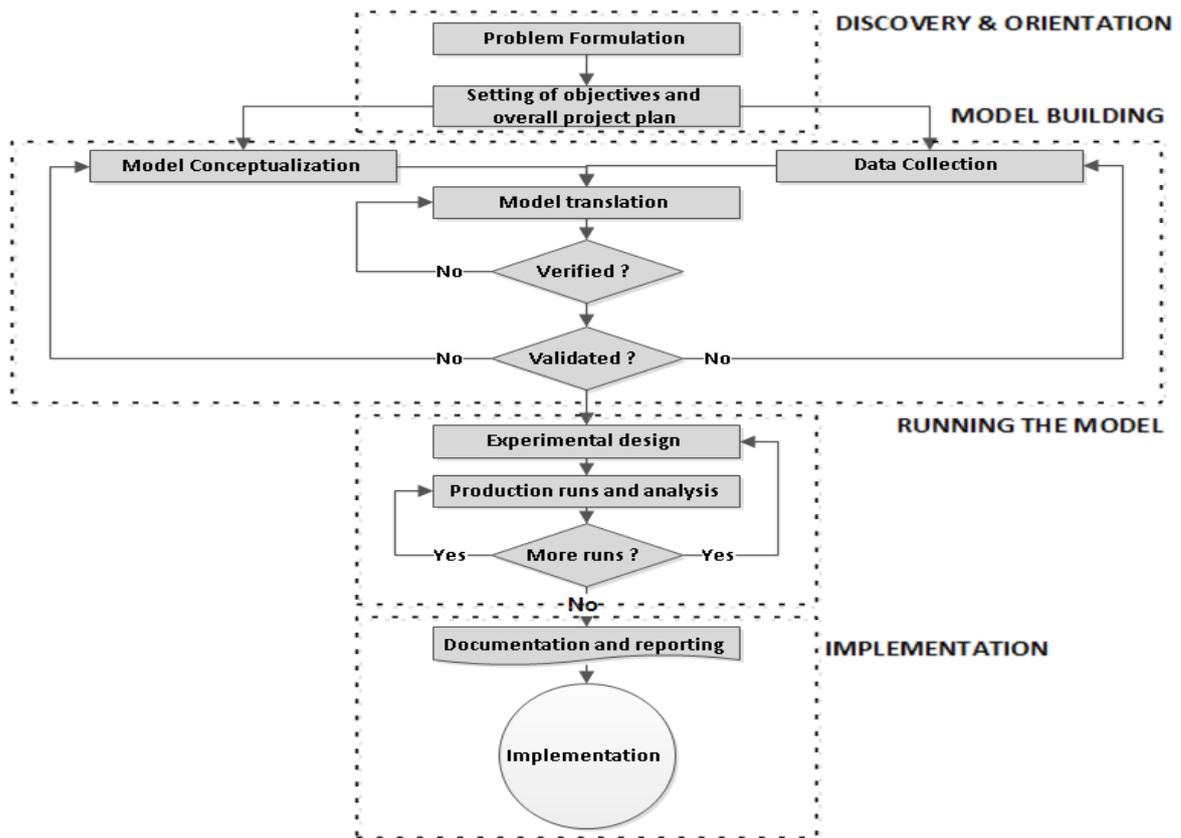


Figure 18 Démarche de modélisation et de simulation d'après (Banks et al 1996)

D'une manière très semblable à la démarche de modélisation et de simulation de (Banks et al. 1996) et (Shannon 1975); (Pritsker 1984) propose une démarche en dix étapes : analyse et formulation du problème, identification et collecte des données, construction du modèle, transcription informatique du modèle, vérification du modèle (Balci 1994) (Balci 1997), validation du modèle (Balci 1997) (Sargent 1984) (Sargent 2000), planification stratégique et tactique de la simulation, exécution de la simulation, analyse et interprétation des résultats et recommandations et mise en place.

Dans l'ensemble des démarches de modélisation, des invariants apparaissent en termes méthodologiques. L'ensemble de références citées considère deux types de modèles, des modèles conceptuels (appelé parfois modèle représentatifs) et des modèles de simulations (qui sont l'instanciation des modèles conceptuels sur une problématique précise). Des étapes intermédiaires de vérification et de validation sont nécessaires pour assurer la cohérence entre les objectifs et besoins de modélisation et le modèle construit. A la lumière de ces invariants et de l'état de l'art sur les démarches de modélisation, nous allons proposer une démarche de modélisation et de simulation dans le contexte de servicisation (Chapitre 4).

3 Modélisation d'entreprise

3.1 Introduction

Après avoir présenté les notions de modèle, de modélisation et de démarche de modélisation dans leurs aspects « génériques », nous allons nous intéresser à la modélisation d'un système particulièrement complexe : l'entreprise. La modélisation d'entreprise est définie par Vernadat comme « une construction de modèle d'une partie déterminée d'une entreprise pour en expliquer la structure et le fonctionnement ou pour en analyser le comportement et en évaluer les performances ou pour l'aide à la décision dans son exploitation » (Vernadat 1999). Ainsi la modélisation doit permettre d'expliquer le fonctionnement, l'organisation et la structure de l'entreprise (Pourcel & Gourc 2005). La modélisation fournit un ensemble de modèles décrivant divers aspects de l'entreprise, de ses processus, de ses activités, des tâches à réaliser, des informations et décision et de sa structure et son organisation. Elle permet également de spécifier la conception, l'analyse ou la performance d'une entreprise (Fox & Gruninger 1997).

Dans son analyse de la modélisation d'entreprise, (Boucher 2007) considère deux fonctions essentielles de celle-ci, selon que l'organisation de l'entreprise est stable ou amenée à être modifiée. Dans le premier cas (organisation stable), la modélisation d'entreprise permet de s'assurer de la cohérence des décisions prises par les différents acteurs de l'entreprise. La modélisation est alors une « représentation de l'entreprise permettant de justifier une certaine forme d'organisation, et (...) de fournir aux différents niveaux de l'organisation des repères suffisants pour traduire l'objectif général d'efficacité de l'entreprise en termes d'objectifs locaux et d'actions concrètes à réaliser » (Hollard 1994). Dans le deuxième cas, où les décideurs souhaitent modifier (ou remettre en cause) l'organisation, la modélisation d'entreprise sert de support décisionnel aux processus de réorganisation (Boucher 2007). Elle permettra ainsi de « décrire l'organisation et les processus opérationnels d'une entreprise, soit dans le but de simuler ces processus pour comparer divers scénarios, soit dans le but de les analyser et de les restructurer pour améliorer les performances de l'entreprise » (Vernadat 1999).

3.2 Méthodes de modélisation d'entreprise

Dans la littérature, on distingue trois concepts liés à la modélisation d'entreprise :

- Le cadre de modélisation d'entreprise (Framework) est un ensemble de méthodologie et d'architecture de référence pour guider et faciliter l'analyse du système Entreprise (Shen et al. 2004).
- Les méthodes et techniques de modélisation quant à elles sont des outils et techniques opérationnels pour la modélisation d'entreprise.
- L'ingénierie d'entreprise est définie comme « l'art de concevoir des systèmes d'entreprise, qu'il s'agisse de systèmes de production discrète, d'industries de transformation, d'industries de services ou de systèmes administratifs » (Vernadat 2002).

La description de l'entreprise peut être faite selon plusieurs vues³ (angles ou focus). Les différentes vues donneront alors une vision globale, complète et cohérente de l'entreprise. La norme (ISO TC 184/SC 5 2000) distingue quatre vues d'entreprise différentes (Figure 19):

- la vue fonctionnelle : elle décrit la structure des processus ;
- la vue informationnelle : elle décrit les flux de données utilisés pour les processus ;
- la vue organisationnelle : elle définit l'organisation, en termes de responsabilités ; permettant l'exécution des processus ;
- la vue des ressources (vue opérationnelle) : décrit les moyens humains et matériels et les modes de gestion permettant la réalisation des processus.

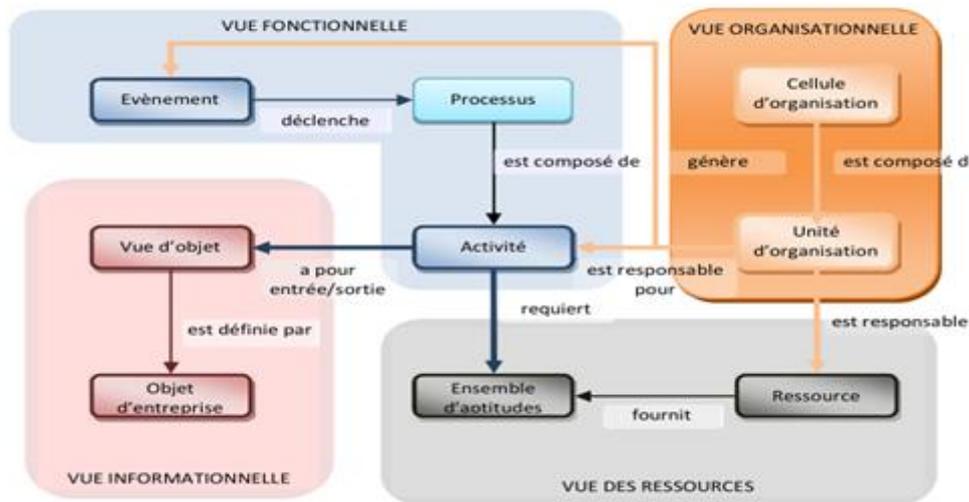


Figure 19 Les différentes vues d'entreprises (Vernadat 1999)

(Shen et al. 2004) quant à eux, ajoutent la vue économique d'une modélisation et ils considèrent les méthodes de modélisation dites « dynamiques » (Figure 20).

³ « Une vue est une représentation de tout un système selon la perspective d'un ensemble d'intérêts liés. » (IEEE 2000)

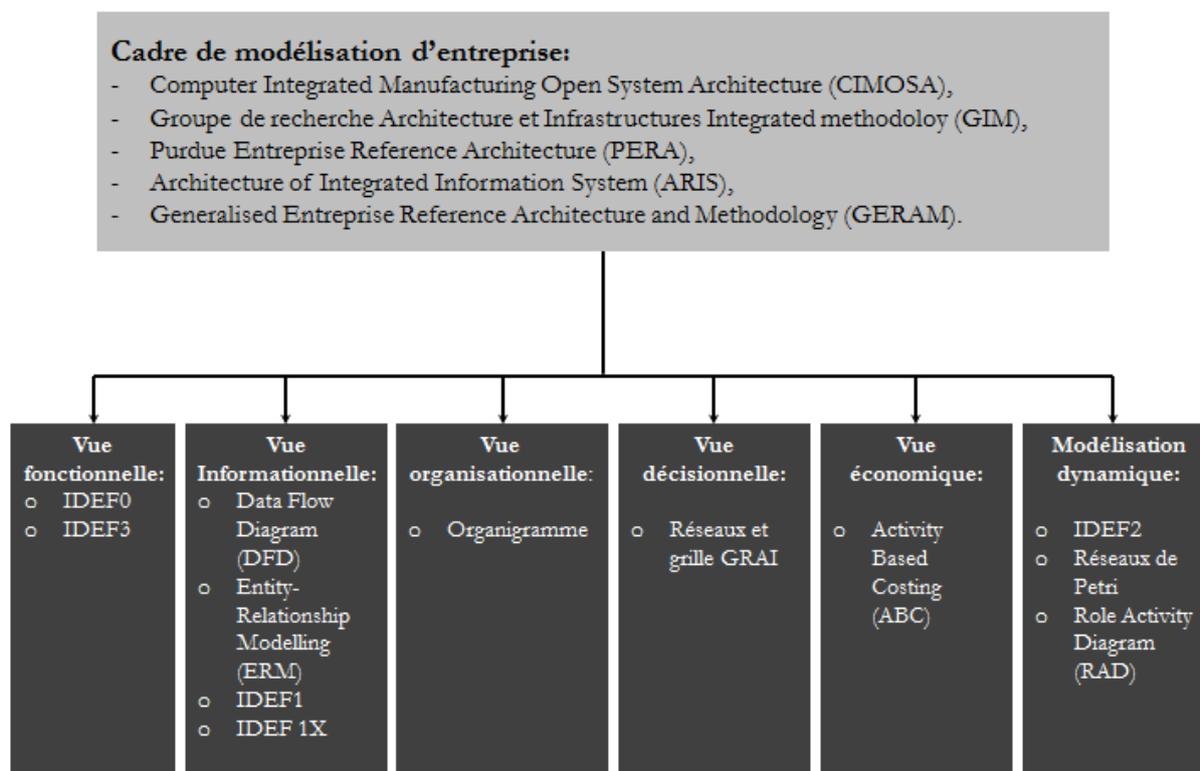


Figure 20 Classification des méthodes de modélisation adaptée de (Shen et al. 2004)

Les méthodes de modélisation d'entreprise peuvent être aussi différenciées en quatre approches différentes (Ulmer 2011):

- l'approche fonctionnelle : les méthodes s'inscrivant dans cette approche proposent une représentation des diagrammes de flux de données axés sur la fonction du système ;
- l'approche systémique : ce sont des méthodes axées sur l'analyse des flux. Elles considèrent à la fois le niveau conceptuel et organisationnel de l'entreprise ;
- l'approche orientée objet : ce sont des méthodes qui s'intéressent beaucoup plus à la modélisation et conception des systèmes d'informations ;
- l'approche orientée processus : les méthodes qui s'inscrivent dans cette classe axent la modélisation sur l'ensemble des processus de l'entreprise (Tableau 5).

| Approche | Structurée | Systémique | Orientée objet | Orientée Processus |
|----------------------------------|---------------------|----------------------------------------------|----------------|--------------------|
| Méthode, langage et outil | IDEF0, IDEF2, IDEF3 | CIMOSA, MERISE, GRAI, GIM, PERA, GERAM, UEML | UML, UEML | BPMN, ARIS, SCOR |

Tableau 5 Approche de modélisation d'entreprise adaptée de (Ulmer 2011)

Nous allons présenter brièvement quatre méthodes de modélisation d'entreprise correspondant aux quatre approches citées dans le tableau précédent, IDEF qui est une approche structurée, GRAI qui est une approche systémique axée sur la vue décisionnelle, la méthode UEML qui est axée sur les différents objets de l'entreprise et enfin la méthode BPMN qui est orientée processus.

3.2.1 Intégration DEFinition (IDEF)

La méthode IDEF est constituée d'un ensemble de techniques de modélisation et d'analyse des systèmes de production pour représenter différentes vues de l'entreprise. IDEF est constituée de seize méthodes (IDEF0 à IDEF14 et IDEF1X), chacune ayant une vue et un objectif précis pour la modélisation et l'analyse des systèmes :

- IDEF0 : modélisation basée sur les activités
- IDEF1 : modèles informationnels
- IDEF1X : modélisation des structures de données
- IDEF2 : modèles pour la simulation
- IDEF3 : saisie de descriptions de processus
- IDEF4 : conception orientée objet
- IDEF5 : saisie de description d'ontologie
- IDEF6 : saisie de rationalités conceptuelles
- IDEF7 : méthode d'audit pour les systèmes d'information
- IDEF8 : modélisation d'interfaces utilisateurs
- IDEF9 : spécification de la conception dirigée par scénarios des systèmes d'information
- IDEF10 : modélisation d'architectures d'implantation
- IDEF11 : modélisation d'artefacts informationnels
- IDEF12 : modélisation d'organisations
- IDEF13 : conception de formalismes trischémas
- IDEF14 : conception de réseaux.

IDEF0 est la méthode la plus utilisée. Elle décrit et décompose l'entreprise en un ensemble d'activités (Figure 21)

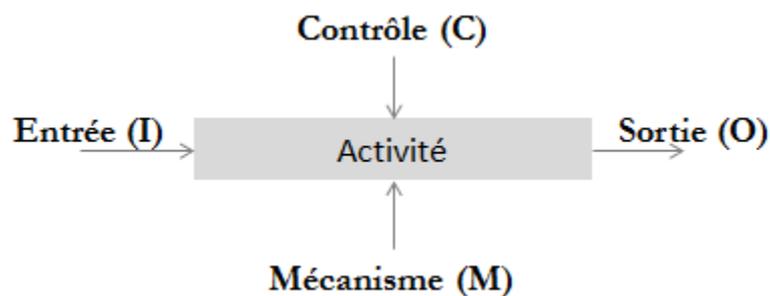


Figure 21 description de l'activité dans la méthode IDEF0

3.2.2 Graphes à Résultats et Activités Inter reliés (GRAI)

(Doumeingts 1984) a développé la méthode des « Graphes à Résultats et Activités Inter reliés » (GRAI) pour analyser les systèmes de production d'un point de vue processus décisionnel. La grille GRAI est un tableau dont les colonnes représentent l'ensemble des fonctions de l'entreprise. Les lignes représentent les niveaux décisionnels de l'entreprise, se rapportant aux différents types de décisions (stratégique, tactique et opérationnelle) (Figure 22).

Le concept central de la méthode est le centre de décision. Celui-ci correspond à un ensemble d'activités décisionnelles remplissant la même fonction et appartenant au même niveau d'horizon. D'une part, le centre de décision dépend du cadre de décision du niveau supérieur ou d'un même

niveau, et d'autre part, il définit le cadre de décision pour les centres de décisions du niveau inférieur à lui ou de même niveau.

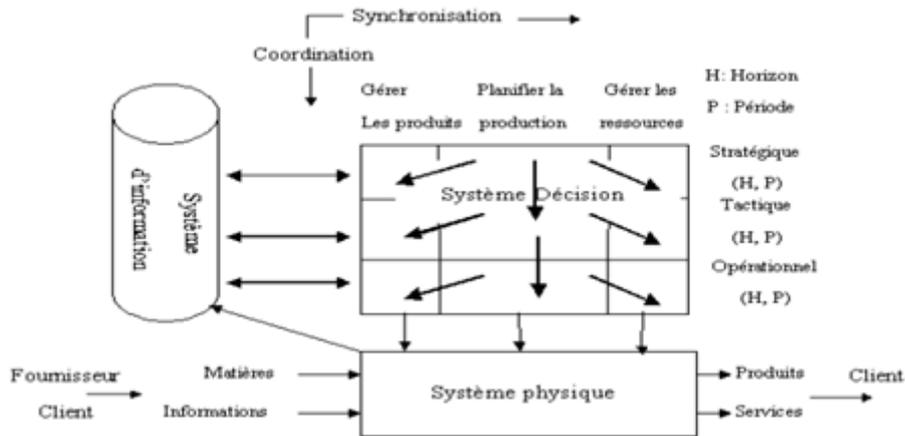


Figure 22 Le modèle conceptuel d'un centre de décision GRAI

3.2.3 Business Process Modelling and Notations (BPMN)

Le BPMN est une méthode de modélisation qui fournit « une notation graphique pour représenter un processus métier » (Chinosi & Trombetta 2012). La méthode BPMN peut être utilisée comme outil de modélisation conceptuelle ou d'analyse des systèmes (Chinosi & Trombetta 2012). La méthode est centrée sur la modélisation des processus métiers de l'entreprise et utilise des objets et notations standardisés (Figure 23).

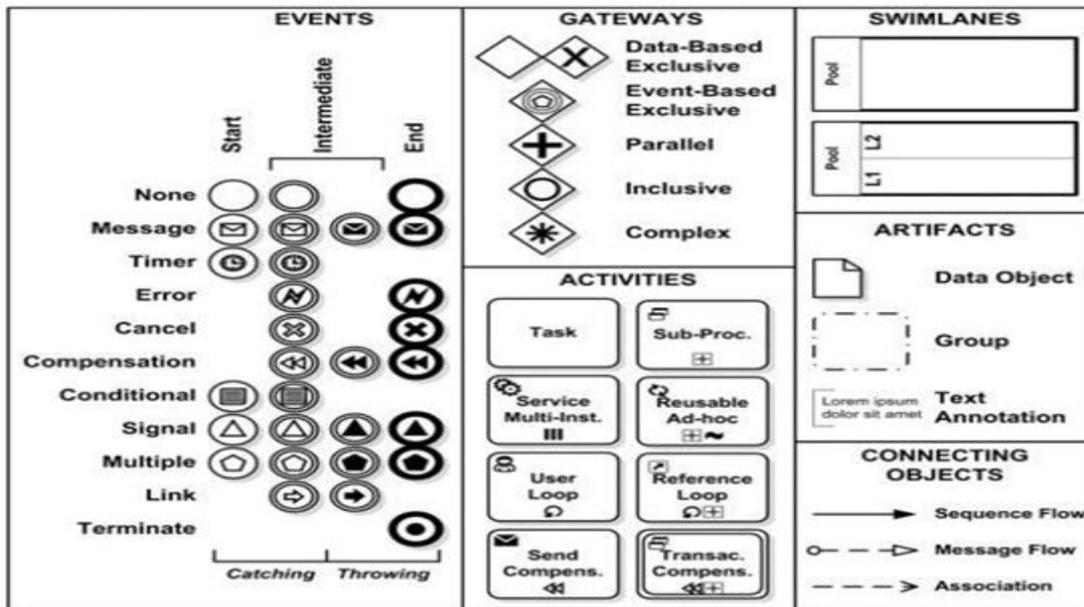


Figure 23 Objets et notations utilisés pour la modélisation BPMN (Chinosi & Trombetta 2012)

3.2.4 Unified Enterprise Modelling Language (UEML)

La multiplicité des langages de modélisation des systèmes (IDEF, CIMOSA, ARIS, Réseaux de Petri...) a complexifié l'interopérabilité des modèles entre les entreprises partenaires. Un besoin de normalisation, de standardisation et d'unification des langages de modélisation d'entreprise

était alors nécessaire pour s'adapter à l'environnement de plus en plus collaboratif des entreprises. Cette approche de modélisation, dénommée « Unified Enterprise Modelling Language » (UEML) vise à fournir pour l'industrie un langage de modélisation unifié et extensible (UEML 2005).

(Vernadat 2002) est l'un des pionniers sur la problématique d'interopérabilité des outils ou langages de modélisation. Il propose ainsi le langage UEML. Celui-ci utilise comme support à la modélisation différents objets de l'entreprise. Le langage intègre la plus grande partie des notions et concepts définis pour la modélisation d'entreprise (événement, processus, activités, objets d'entreprise, ressources et unité organisationnelle) (Figure 24).

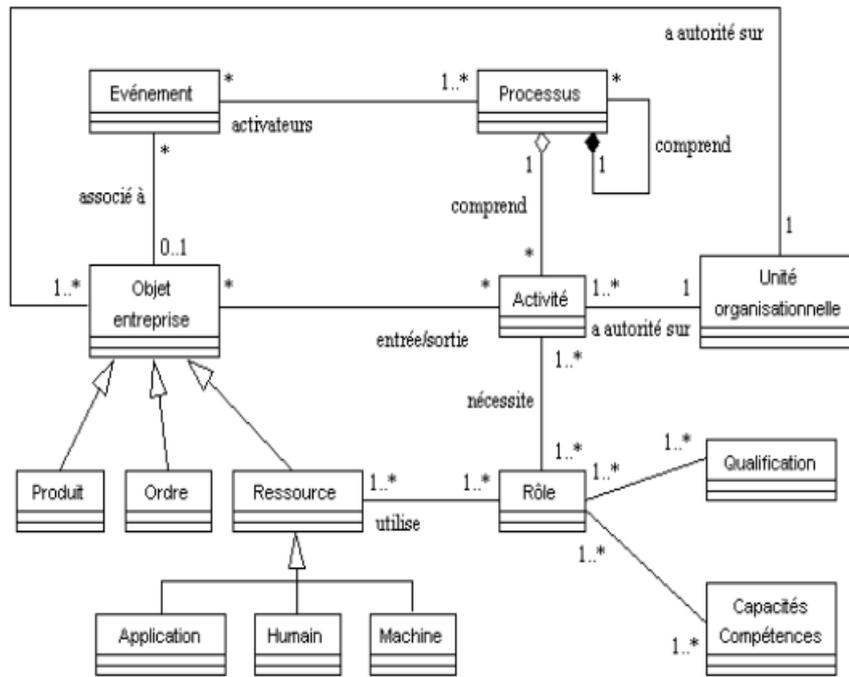


Figure 24 Concepts et objets de base pour la modélisation UEML (Vernadat 2002)

3.3 Conclusion

La modélisation d'entreprise nous offre un éventail de choix pour des méthodes et langages de modélisation. Ceux-ci permettent une représentation claire des systèmes que nous souhaitons modéliser et représenter (en l'occurrence pour nous, une entreprise dans un contexte d'offre PSS) selon la vue et l'objectif souhaité.

Dans notre cas, nous allons utiliser essentiellement deux langages de modélisation. Nous utiliserons UML et le formalisme IDEF0 pour la construction et la spécification des modèles conceptuels.

4 Modélisation et simulation dans le contexte PSS

4.1 Les modèles conceptuels dans le contexte PSS

Dans le contexte PSS, les premiers travaux et propositions de modèles étaient des modèles axés sur la représentation et la description du concept PSS. En effet, à l'émergence du concept PSS, des besoins de représentation, de modélisation, d'explication de l'approche orientée PSS, de visualisation des différentes parties prenantes et des flux liés au concept PSS sont apparus. Les premiers modèles n'avaient pas pour ambition d'aider à la prise de décision ou à fournir des résultats de simulations et d'analyses, mais plutôt une volonté de visualisation et de représentation d'une entreprise orientée PSS et de ses différents processus.

Une revue des différentes méthodes, modèles et outils de modélisation des flux d'information a été présentée dans (Durugbo et al. 2011). Les auteurs spécifient les caractéristiques du PSS, et proposent un cadre d'adaptation des méthodes de modélisation conçues pour un modèle d'entreprise classique (vente de produit/service) en incluant les spécificités d'un modèle PSS. Les auteurs proposent une adaptation des méthodes comme IDEF 0 et IDEF 1, PETRI, GRAI, Input Process Output (IPO) Diagrams, Design Structure Matrix.

Nous allons présenter les différentes contributions dans la modélisation des entreprises orientées PSS en les différenciant selon l'objectif de modélisation et le point de vue de modélisation.

4.1.1 Vue ontologique des PSS

« Une ontologie est une conceptualisation d'un domaine à laquelle sont associés un ou plusieurs vocabulaires de termes. Les concepts se structurent en un système et participent à la signification des termes. Une ontologie est définie pour un objectif donné et exprime un point de vue partagé par une communauté. Une ontologie s'exprime dans un langage (représentation) qui repose sur une théorie (sémantique) garante des propriétés de l'ontologie en termes de consensus, cohérence, réutilisation et partage. » (Roche 2005). La modélisation d'ontologies permet ainsi d'identifier et de comprendre les principales problématiques d'un domaine spécifique et leurs relations (Gruber 1993) (Uschold & Jasper 1999). Dans le cadre du PSS, la modélisation d'ontologie fournit un cadre unificateur de description des concepts et des relations nécessaires au fonctionnement cohérent de ceux-ci. Nous allons faire la revue de quelques modélisations d'ontologie des concepts liés au PSS.

(Gokula et al. 2010) ont proposé une ontologie axée sur l'ensemble du système et des acteurs d'une offre PSS. Cette ontologie a pour perspective de visualiser et de mettre en cohérence l'ensemble des « objets » et « acteurs » participant dans une offre PSS. Celle-ci est donc axée sur l'ensemble des parties prenantes qui interagissent lors de la conception d'une offre PSS (Figure 25).

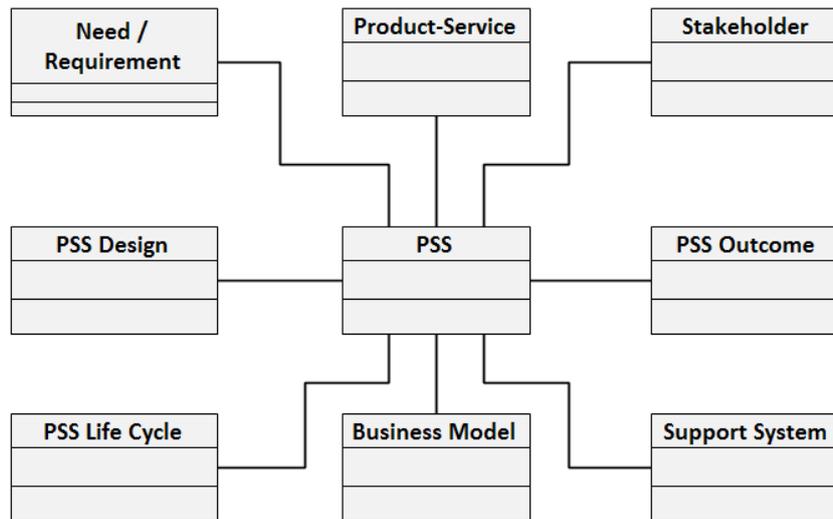


Figure 25 Concepts et objets pour décrire le concept PSS (Gokula et al. 2010)

(Shen & Wang 2007) quant à eux ont proposé une ontologie axée sur l'offre PSS. C'est une vision centrée sur l'offre et les éléments la constituant. Les auteurs mettent ainsi le service au cœur de l'offre et le produit est considéré comme simple support au service (Figure 26).

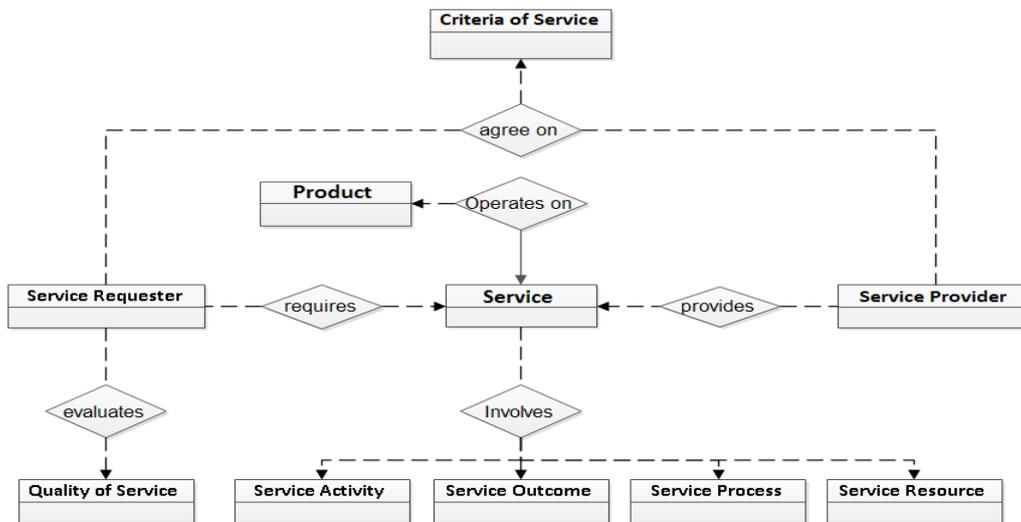


Figure 26 Product service Ontologie d'après (Shen & Wang 2007)

De même que pour (Shen & Wang 2007), l'ontologie proposée par (Kim et al. 2009) est centrée sur le service. Cependant, pour (Kim et al. 2009), l'ontologie est axée sur la notion de la valeur du service (Figure 27). Les auteurs modélisent ainsi un réseau d'éléments de valeurs des produits et services et la relation entre ces éléments dans le contexte PSS. Les éléments à valeur sont définis par leur nature (contraintes et catégories) et leur type de réalisation. Les relations entre ces éléments sont de type activation, amélioration ou procuration. Cette approche de modélisation et de conceptualisation a été implémentée sur un logiciel (Protege) permettant la gestion des connaissances.

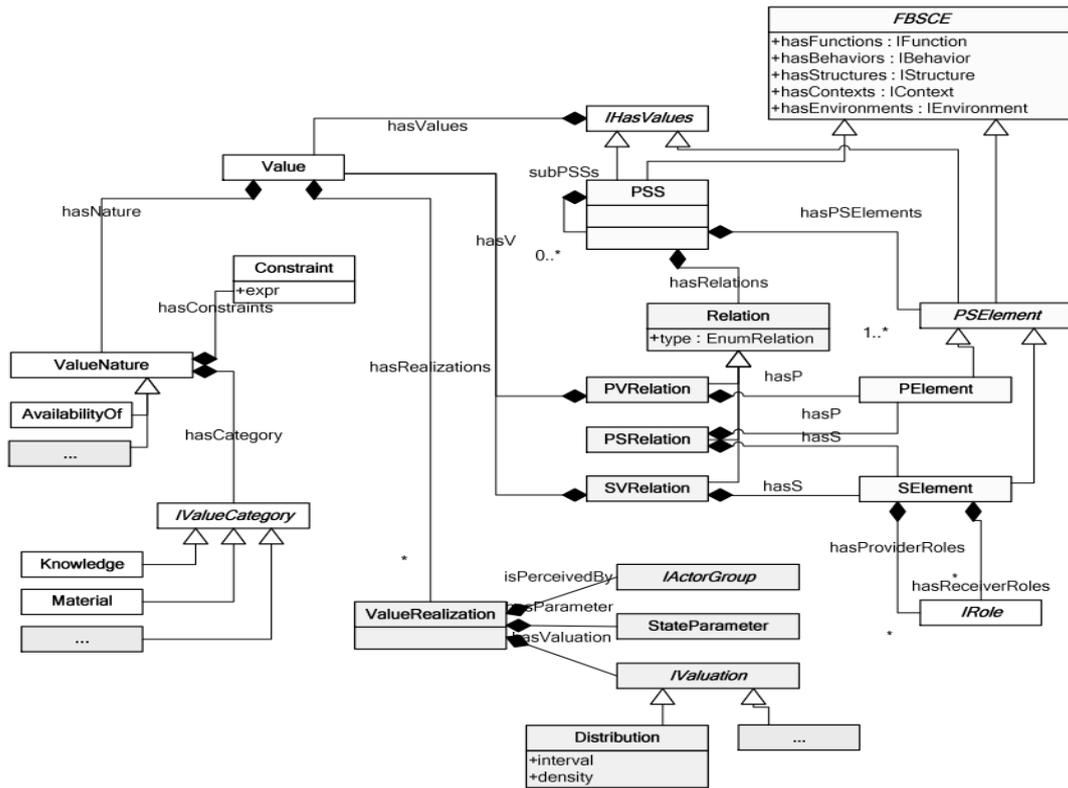


Figure 27 Ontologie basée sur la valeur de service (Kim et al. 2009)

Les trois ontologies que nous venons de citer sont complémentaires dans la mesure où la première s'intéresse aux différentes parties prenantes lors de la conception d'une offre PSS. La deuxième quant à elle fait un zoom sur l'offre PSS elle-même et la troisième complète la deuxième en analysant l'offre PSS d'un point de vue de la valeur du service. Ces trois ontologies nous ont permis de comprendre et de conceptualiser à la fois le système PSS du point de vue des parties prenantes et de l'offre PSS elle-même.

4.1.2 Modélisation axée sur le Service

Dans la littérature liée purement à la notion de service, nous retrouvons des modèles et outils pour la représentation et l'analyse des systèmes de production orientés service, comme l'outil Blueprint proposé par (Shostack 1984). Ce dernier est l'un des premiers chercheurs dans le domaine de la conception des services à proposer une méthode pour le déploiement, la conception et le développement d'un service. Celle-ci est connue sous le nom de Blueprint. La méthode a ensuite été développée par (Kingman-Brundage 1989). Cette méthode introduit trois lignes séparant quatre composantes du processus du service (Figure 28). La ligne d'interaction sépare les actions du client, de celles du fournisseur de service. La ligne de visibilité sépare les actions visibles par le client (front office) et celles invisibles (back office) et la ligne d'interaction interne sépare les actions back office des activités support.

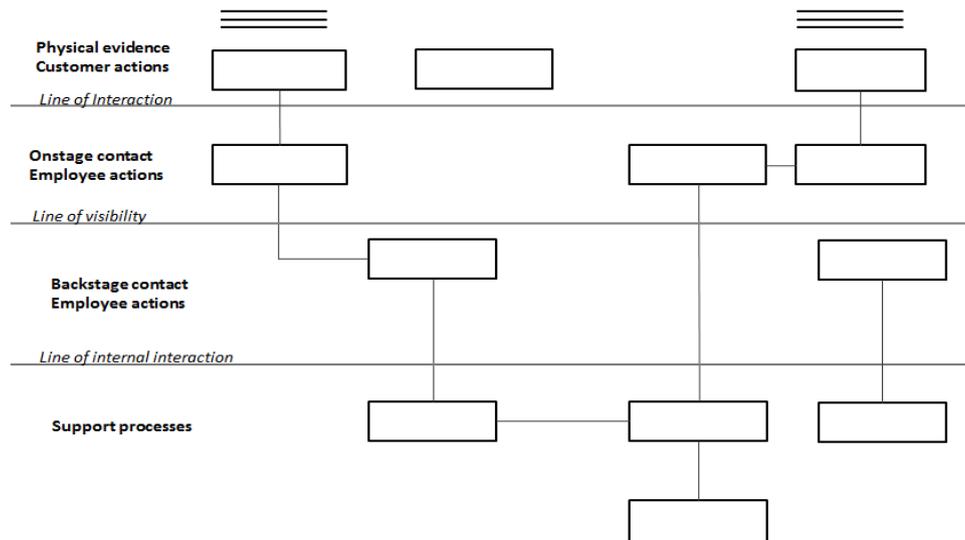


Figure 28 Méthode blueprint (Kingman-Brundage 1989)

Dans le cas des PSS, (Morelli 2002) propose une méthode de conception basée sur 3 étapes. La première est la cartographie des acteurs impliqués dans le PSS, en identifiant les interactions entre les différents éléments. Par la suite, en utilisant la méthode de modélisation IDEF (Integration DEfinition for Function), il analyse les différents scénarios et cas d'usages possibles en s'intéressant au détail des relations entre les différents éléments du système. Finalement, une représentation globale du PSS en utilisant l'outil Blueprint est proposée, en clarifiant et en mettant en exergue les différentes caractéristiques influant l'offre PSS (front et back office). Toujours en utilisant des outils et techniques d'ingénierie des services, (Hara et al. 2009) proposent une modélisation des flux d'activités de service par BPMN.

Les travaux de (Sakao & Shimomura 2007) proposent d'aborder la problématique de conception par une approche d'ingénierie de service. Les techniques issues de l'ingénierie des services modélisent à la fois le fournisseur de service « Service Provider », et le client ou récepteur du service « service receiver ». La méthode considère le changement d'état du consommateur et son degré de satisfaction pour concevoir des produits-services durables. Ils introduisent la notion de paramètre d'état du consommateur à partir de laquelle ils construisent le modèle de service avec une application informatique « Service Explorer » ou « Service CAD ». Cette modélisation est généralement couplée à d'autres méthodes de modélisation comme BPMN (Business Process Modelling Notation), FDB (Functional Block Diagram)...

L'UML est un langage très utilisé dans le contexte PSS. Il est utilisé pour une approche orientée objet de la modélisation. Il a été utilisé pour développer des ontologies (Kim et al. 2009) et pour permettre l'analyse de cas d'utilisation pour la conception des PSS (Maussang et al. 2007) (Abramovici et al. 2009) (Morelli 2006). Ainsi les différents diagrammes d'UML peuvent être utilisés pour modéliser le contexte PSS suivant le focus souhaité par le modélisateur (Tableau 6) (Phumbua 2012).

| Type de diagramme UML | Fonctions cibles |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Diagramme de cas d'utilisation | Actions de l'utilisateur |
| Diagramme de classe et d'objet | Les objets et classe du système et leur attributs |
| Diagramme de séquence et de collaboration | Interactions entre les différents acteurs (agents) |
| Diagramme d'activité | Le flux d'activités |
| Diagramme d'état | Le changement d'états des acteurs (objets) |
| Diagramme de composants | La structure du produit |
| Diagramme de déploiement | Exécution et utilisation d'un produit |

Tableau 6 Utilisation d'UML dans le cas PSS (Phumbua 2012)

4.1.3 Modélisation axée sur le cycle de vie

Les premiers travaux de modélisation du système produit service mettant en évidence la perspective cycle de vie ont été menés par (Mont 2000). Cette dernière, dans le cadre de sa thèse, a représenté les différentes étapes du cycle de vie d'un système produit service (Tableau 7). Elle a distingué les étapes dans lesquelles l'utilisateur intervient (co-crédation de valeur en gras sur le Tableau 7), et les étapes dont la responsabilité incombe au prestataire (le cas échéant, le producteur). L'auteur insiste sur les étapes et phases de conception dans lesquelles l'utilisateur doit pleinement participer à la conception de l'offre PSS et s'impliquer dans un processus de développement durable.

| Life cycle stage |
|-----------------------------------------------------|
| 1. Product design and development |
| 2. Process planning and development |
| 3. Purchasing |
| 4. Production |
| 5. Control and test |
| 6. Control and treatment of non-conforming products |
| 7. Handling, storage, packaging and delivery |
| 8. Marketing and market research |
| 9. Selling/Leasing |
| 10. Use |
| 11. Maintenance |
| 12. Refurbishment /upgraind |
| 13. Take back |
| 14. Reuse |
| 15. Recycling |
| 16. Final utilisation |

Tableau 7 Cycle de vie PSS (Mont 2000)

En reprenant les différentes étapes citées par Mont, le modèle conceptuel proposé par (Mien et al. 2005) (Figure 29) met l'accent sur l'aspect cyclique des flux dans le cas d'une entreprise orientée PSS.

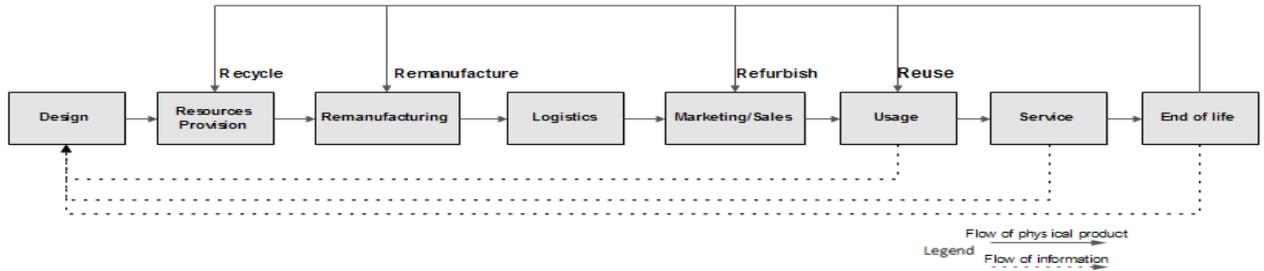


Figure 29 Modèle conceptuel PSS (Mien et al. 2005)

(Aurich et al. 2006) ont développé une technique de modularisation des processus de service en se basant sur le cycle de vie d'un service. Ils proposent ainsi de décomposer le processus en quatre objets principaux. Chaque objet possède des attributs qui lui sont propres et chaque objet est en interaction avec d'autres objets. Les auteurs définissent ainsi les classes d'objets « Description », « Reference », « Fonction » et « Ressource » (Figure 30).

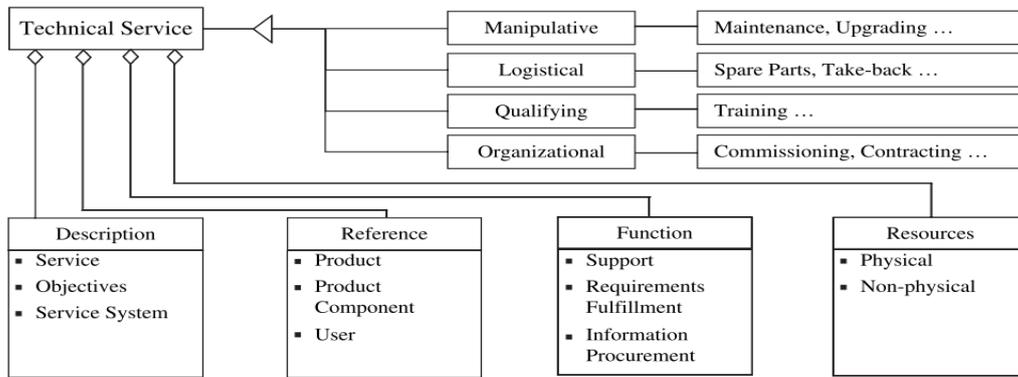


Figure 30 Modèle de service basée sur les objets(Aurich et al. 2006)

Les travaux de (Hu et al. 2007) s'intéressent à l'étude comparative entre des modèles de chaînes logistiques ouvertes et fermées (boucles fermées). Le modèle met ainsi l'accent sur le caractère cyclique des flux et sur les activités centrales d'une entreprise orientée PSS. On voit ainsi que, dans le cadre d'une chaîne logistique à boucle fermée, on sera en présence de nouvelles activités et processus comme le remanufacturing, la remise à neuf, le recyclage pouvant inclure jusqu'à la mise en décharges des déchets ou à leur incinération (Figure 31).

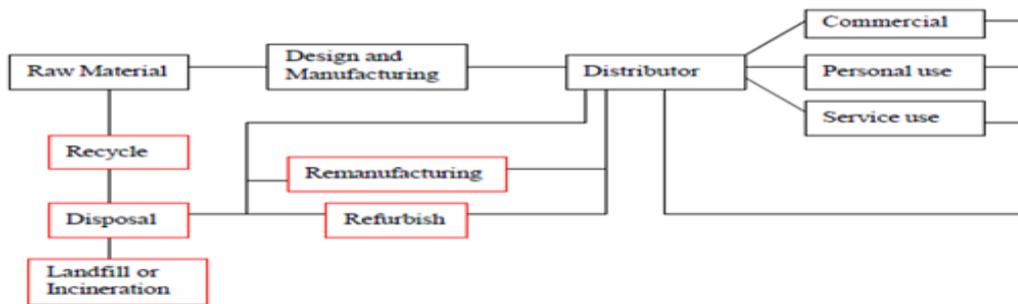


Figure 31 Modèle conceptuel de la logistique en boucle fermée (Hu et al. 2007)

(Yang et al. 2010) proposent une conceptualisation de l'entreprise orientée PSS en mettant l'accent sur le cycle de vie d'un service. Ce cycle couvre l'expression du besoin en service, le

déploiement du service, l'exécution du service et le retrait du service (Figure 32). Les auteurs ont ainsi adopté une vision purement axée sur le « service » d'une entreprise orientée PSS. La notion de produit n'apparaît que comme support au service, on ne s'intéresse pas à la production des produits mais plutôt à la prestation de service à travers le produit.

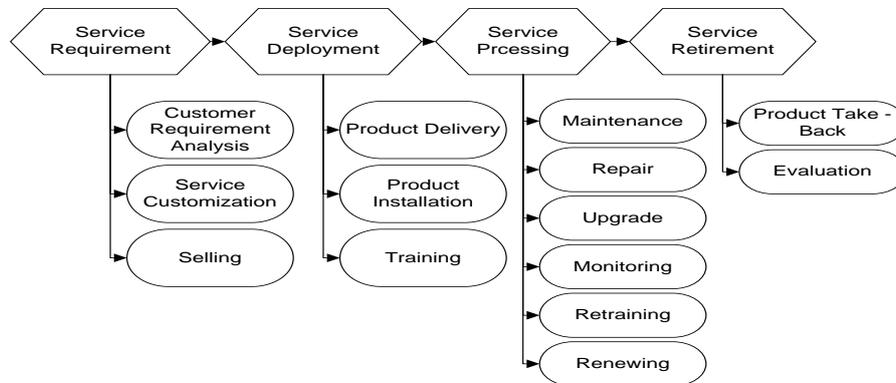


Figure 32 Cycle de vie de service (Yang et al. 2010)

(Ping & Jia 2010) proposent une modélisation pour la gestion du cycle de vie d'un PSS. Ils proposent une décomposition du cycle de vie d'un PSS en trois systèmes : le système « Production », le système « Consommateur ou consommation », et le système « Environnemental » (Figure 33). Les auteurs précisent que le cycle doit être optimisé d'une manière globale. Ils soulignent par ailleurs que dans le contexte PSS la communication et l'échange d'informations sont indispensables.

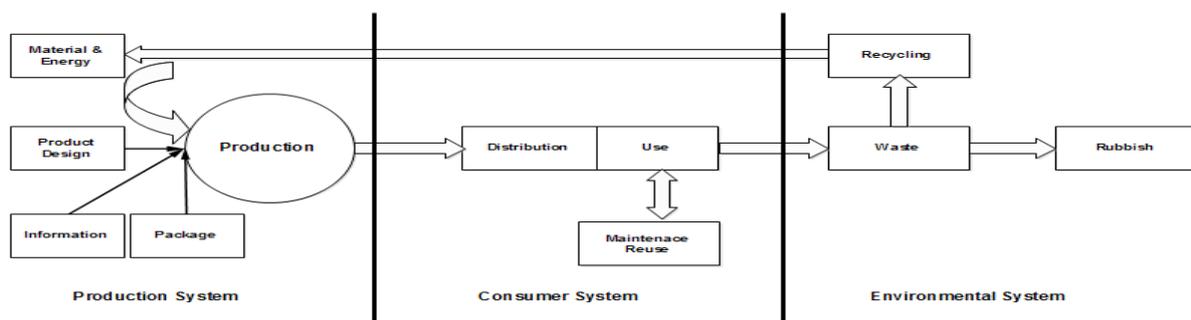


Figure 33 Modèle conceptuel PSS proposé par (Ping & Jia 2010)

Dans (Wangphanich 2011), l'auteur propose un modèle de chaîne logistique orientée PSS composé de quatre sous-modèles génériques (Figure 34), à savoir :

- (i) un modèle d'inventaire (ou modèle de stocks qui est utilisé pour modéliser le niveau de stock d'un maillon de la chaîne logistique) ;
- (ii) un modèle de couplage (utilisé pour modéliser les flux d'informations et les flux de produits entre les stocks des maillons de la chaîne logistique) ;
- (iii) un modèle de contribution (dont l'objectif est de modéliser un processus de commande pour reconstituer un stock pour chaque maillon de la chaîne logistique) et

(iv) un modèle PSS (qui a pour but de modéliser deux systèmes, un système de vente traditionnel, et un système PSS orienté résultat). Une application sur un cas standard, qui est la vente des machines à laver a été faite pour valider le modèle.

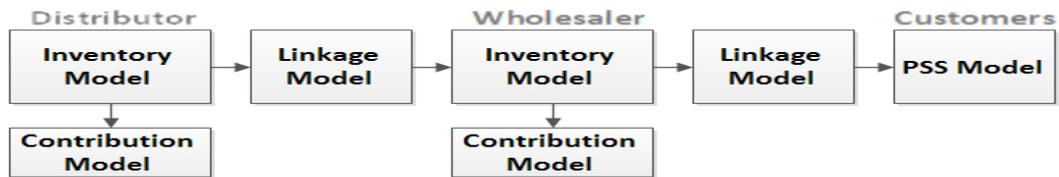


Figure 34 Modèle de chaîne logistique PSS (Wangphanich 2011)

(Tan et al. 2006) proposent un couplage entre le cycle de vie d'un produit et le cycle de vie de la relation client (Figure 35). Les auteurs estiment ainsi que les entreprises doivent avoir cette double vision pour pouvoir optimiser le potentiel qu'offre le PSS d'un point de vue économique et environnemental.

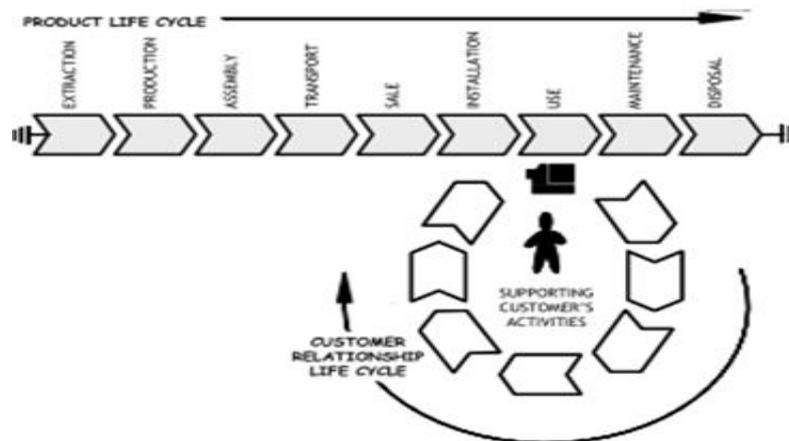


Figure 35 Modèle PSS basé sur le cycle de vie du produit et le cycle de vie de la relation client (Tan et al. 2006)

4.1.4 Conclusion sur les modèles conceptuels proposés dans la littérature sur le contexte PSS

Les modèles conceptuels proposés dans la littérature ont été motivés par un besoin de compréhension, d'analyse des parties prenantes et des objets dont est constitué un système productif orienté PSS ainsi que de l'offre PSS. Nous pouvons ainsi résumer les différentes contributions et remarques relatives à notre état de l'art :

- les modèles décrivent généralement le concept PSS, les différents partenaires et différents objets de cette offre ;
- les modèles conceptuels représentatifs des systèmes de production orientés PSS représentent les différents processus et activités liés au concept PSS, souvent sur l'angle du cycle de vie (de l'extraction de la matière première à la fin de vie) ;
- la majorité des modèles ont été conçus pour offrir un cadre de compréhension de l'offre PSS et son système productif. Ces modèles sont appropriés pour les besoins en conceptions de l'offre et du système productif ;

- il faut noter l'absence de modèle conceptuel ayant comme perspective et comme périmètre l'entreprise, et comme focus la gestion des opérations. La plupart des travaux ont adopté une vue cycle de vie (des produits et/ou des services) de l'entreprise.

Nous pouvons affirmer et souligner, à la lumière de cet état de l'art, la nécessité d'inclure dans un modèle conceptuel, le changement organisationnel de l'entreprise à travers la conceptualisation de nouveaux processus et activités d'une part, et le changement du modèle économique à travers la conceptualisation de l'implication du client et son impact sur l'organisation et la gestion de l'entreprise d'autre part.

4.2 Les modèles de simulation dans le contexte PSS

La simulation représente un outil d'évaluation a priori de la performance et un outil puissant d'aide à la compréhension de la dynamique des systèmes. La simulation apporte une forte valeur ajoutée lorsque l'objectif est d'analyser des systèmes fortement complexes, intégrant des comportements dynamiques et stochastiques, difficilement abordables –du fait de leur complexité– par des approches plus déterministes ou plus analytiques. Nous retrouvons plusieurs études et plusieurs types d'approches de simulation dans le contexte PSS, en fonction de l'objectif recherché par la simulation. Les approches les plus utilisées sont la simulation par la dynamique des systèmes, la simulation basée sur les agents et la simulation à événements discrets. Le choix de l'approche de simulation est essentiellement basé sur l'objectif recherché par l'auteur, et les contraintes qu'il prend en considération.

4.2.1 Simulation à événements discrets

Dans la « simulation à événements discrets », deux notions doivent être clairement définies et expliquées : la notion d' « événement » et la notion de « discret ». Un événement correspond à un fait, une perturbation et une sollicitation pouvant déclencher des activités et de changer l'état d'un ou des objets qui participent au système étudié, et par conséquence modifier l'état global de celui-ci. Un événement a donc un nom, une date d'occurrence, un objet support (lequel est directement ou indirectement lié aux activités déclenchées par le dit événement) et une méthode de priorisation sur les événements, utile dans le cas où différents événements ont été déclenchés au même instant (Marques 2010). Pour la notion de « discret » s'opposant généralement à la notion de « continue », cette notion est directement liée au temps régissant le système dans son fonctionnement dynamique. (Muzy 2004) distingue clairement le temps de fonctionnement du système dans la réalité (« temps réel ») et le temps de fonctionnement du système dans le simulateur (« temps de simulation »). Ce dernier peut être géré de deux manières différentes, par horloge ou par événements. Dans le cas de gestion par horloge le temps de simulation est incrémenté d'un intervalle de temps (un pas) Δt constant, de t à $t + \Delta t$. Pendant la durée de l'intervalle, des événements interviennent et ils sont enregistrés. Les changements d'état de l'objet sont calculés en fin de chaque période et une mise à jour des attributs des objets est alors effectuée, on parle alors de modèles « synchrones » ou de modèles à temps discret (simulation à temps discret). Dans le cas d'une gestion par « événements », le changement de temps de simulation se fait d'un instant d'occurrence d'un événement à un autre, c'est-à-dire d'un changement d'état du système à un autre. On parle alors d'une gestion « asynchrone » du temps et le modèle est appelé modèle à événements discrets (simulation à événements discrets). Le

principe de fonctionnement d'un modèle à évènement discret a été décrit par (Thierry et al. 2008). Ils décomposent ainsi le modèle en quatre phases (Figure 36).

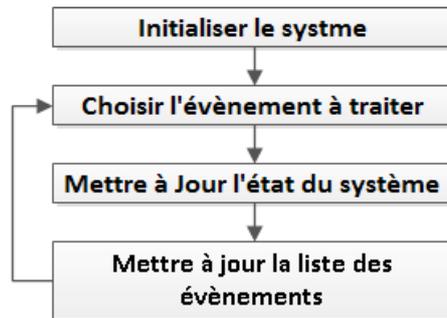


Figure 36 Principe de fonctionnement de la simulation à événements discrets (Thierry et al. 2008).

Dans le contexte PSS, la simulation à événements discrets est utilisée principalement pour tester et évaluer les fonctionnalités d'une offre PSS (Alonso-Rasgado al. 2004) ou pour analyser et évaluer l'impact d'une offre PSS tout au long du cycle vie du PSS. Ainsi, nous retrouvons les travaux de (Kumazawa et al. 2006), qui se sont intéressés à la transition d'un modèle économique de vente, vers un modèle économique où les produits sont réutilisés dans différents segments de marché. Les auteurs ont adopté la simulation du cycle de vie du produit, qui est plus adaptée aux PSS, pour sa prise en compte des aspects environnementaux. Les auteurs ont amélioré leur modèle en couplant le modèle de simulation de cycle de vie à un modèle de conception de l'offre PSS (en utilisation Service-CAD) (Komoto & Tomiyama 2008).

4.2.2 Simulation basée sur la dynamique des systèmes

Le premier modèle en management industriel basé sur la dynamique des systèmes a été développé par (Forrester 1958). Le modèle a permis de comprendre une problématique de management du groupe General Electric (GE). La modélisation en dynamique des systèmes permet une appréhension de la réalité sous forme systémique en se basant principalement sur les mécanismes de rétroactions.

Pour le cas de la dynamique des systèmes, l'objectif de modélisation est souvent stratégique et à long terme. Ainsi (Bianchi et al. 2009) ont utilisé cette approche afin d'étudier les barrières et motivations de la transition d'une entreprise manufacturière de vente vers une offre PSS. L'objectif était alors de rechercher les facteurs les plus influents dans une transition vers une offre PSS. L'entreprise offrant un produit en modèle de vente classique et l'entreprise développant une offre PSS sont représentées par, d'une part, un schéma de boucle causale (Causal Loop Diagram) qui traite les interactions et les relations entre les éléments du système, et d'autre part, une représentation des stocks et des diagrammes de flux (Stock and Flow Diagram). La même technique de simulation a été utilisée par (Wangphanich 2011) pour étudier l'impact du PSS sur l'amplification de la demande à long terme et sur les performances économiques et environnementales d'une transition vers une offre PSS (application à la vente de la fonction « lavage »).

4.2.3 Simulation basée sur les agents

Un peu plus récents que le modèle de la dynamique des systèmes, les modèles de simulation basés sur les agents ont été développés dans les années 1970. Le postulat de base est de considérer que le comportement global d'un système (le comportement macroscopique) est le résultat direct de comportements locaux des individus le constituant (le comportement microscopique) (Parunak et al. 1998). En effet, selon (Millischer 2000) l'approche permet de se focaliser et de modéliser les « agents » constituant le système sous étude, leurs comportements par rapport à leurs objectifs et leurs interactions. Il s'agit donc de représenter le monde réel (par rapport à des frontières et un cadre d'étude bien défini) sous forme artificielle. Le modèle artificiel sera constitué d'autant d'agents en interaction que le modèle réel. Nous allons reprendre la définition de (Ferber 1999) qui considère qu'un agent est une entité physique ou virtuelle qui :

- est capable d'agir dans un environnement,
- peut communiquer directement avec d'autres agents,
- est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
- possède des ressources propres,
- est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
- ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
- possède des compétences et offre des services,
- peut éventuellement se reproduire, mourir et changer d'état,
- possède un comportement qui tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.

Dans le cas où l'objectif est plutôt d'étudier les acteurs d'un système. Ceux-ci peuvent être considérés comme des agents ayant : (i) des règles de décision et des comportements propres à chacun, (ii) une influence plus ou moins forte entre les agents et (iii) une certaine autonomie. La simulation basée sur les agents permet ainsi d'orienter l'étude vers l'interaction entre acteurs (agents) au lieu de l'interaction entre les processus, les activités et les flux. Ce type de simulations a été utilisé notamment par (Buxton et al. 2003) pour étudier l'impact de la servicisation des engins aéronautiques sur la dynamique du marché (en considérant les concurrents comme des agents).

4.3 Conclusion sur les modèles et approches de simulation dans le contexte PSS

La simulation dans le cadre PSS a été souvent effectuée suivant l'approche cycle de vie, pour pouvoir confirmer (ou infirmer) les gains économiques et environnementaux de ce modèle. On note ainsi, l'absence de simulations se focalisant sur l'entreprise pivot d'une chaîne de création de valeur par les PSS et sur la gestion interne des opérations de l'entreprise servicisée. Les modèles de simulations sont souvent axés sur une évaluation au niveau stratégique de l'adoption d'une offre PSS ; les évaluations proposées concernent les points de vues économique (calcul des coûts et des bénéfices), environnemental (la consommation des ressources, la quantité des déchets),

financier (calcul de la valeur actuelle nette) et opérationnel (niveau de qualité, le niveau d'utilisation des ressources). Les différentes techniques de simulations citées dans les paragraphes précédents ont été utilisées dans la littérature, néanmoins l'utilisation de la simulation à événements discrets dans le contexte PSS reste faible (Phumbua & Tjahjono 2010), (Phumbua & Tjahjono 2012). Elle est particulièrement utilisée pour la simulation et l'analyse tout au long du cycle de vie du produit. Cette approche de simulation est particulièrement intéressante pour étudier les bénéfices environnementaux et économiques d'une offre PSS.

5 Problématique de gestion des capacités

Les problématiques de gestion de la capacité et des ressources ont été largement développées dans la littérature scientifique, dans le cadre de la gestion des opérations des services (ou de la production de bien). Le contexte des PSS donne lieu à de nouveaux défis dans ce domaine de recherche (Chalal et al. 2013). En effet, lors de la vente d'usage d'un Système Produit Service, le producteur - fournisseur doit développer de nouvelles capacités organisationnelles afin de s'adapter aux fortes fluctuations de la demande qui caractérisent la prestation de services. En conséquence, la prestation de service (en termes notamment de qualité de service et de temps de réponse) et les processus et activités du back-office seront affectés par ces fluctuations (Baines et al. 2007). Le système de production ne peut plus être considéré comme optimisé par une capacité de production nominale et stable et de nouvelles stratégies de gestion des capacités doivent être créés pour fournir une meilleure réponse à de telles fluctuations et tout en maintenant ainsi une certaine qualité de service requise.

En outre, les systèmes de production orientés PSS exigent des processus de revalorisation des produits usagés (récupérés après fin de contrat). Ces processus font partie du système de production et ils génèrent de nouvelles contraintes sur les capacités. L'intégration du processus de fabrication, des processus de revalorisation (remise à neuf, remanufacturing...) et des processus axés sur la prestation de service offrent des possibilités et opportunités nouvelles de flexibilité au niveau de la gestion des compétences. Sur la base de ce contexte et ces nouveaux leviers de flexibilité, des politiques de gestion de la capacité spécifiques peuvent être envisagées et testées.

Une entreprise orientée service nécessite une capacité dynamique de configuration organisationnelle, une configuration adaptative des ressources (humaines, technologiques, informationnelles) qui crée et apporte de la valeur entre le fournisseur et le client (IFM & IBM 2007).

Les prestations de service sont gérées à la demande, il n'y a pas de possibilité de constituer des « stocks de services ». La bonne organisation et configuration des ressources humaines impliquées dans la prestation de services est un élément fondamental de la satisfaction du client (Kowalkowski 2011) (Barquet et al. 2013). Les ressources humaines, leurs aptitudes et compétences constituent un avantage concurrentiel très difficile à imiter en raison de leur intangibilité. En conséquence, la gestion des ressources humaines doit être soigneusement considérée comme un facteur clé de performance (Giard et al. 2005).

En ce qui concerne la planification et la gestion des ressources humaines, des méthodes de recherche opérationnelle ont été développées dans la littérature scientifique (en utilisant les théories des files d'attente, des chaînes de Markov, ou de la programmation linéaire). Une revue de la littérature de ces approches, appliquées aux organisations de service, a été élaborée par (Duder & Rosenwein 2001). En complément aux méthodes exactes de recherche opérationnelle, la simulation offre une possibilité d'exploration et d'exploitation de plusieurs scénarios de gestion des capacités, et permet ainsi de tester l'impact de différentes alternatives de gestion des ressources sur les performances du système global. La simulation est de plus en plus utilisée dans la littérature de gestion des opérations de services, notamment pour l'application aux centres d'appels (Atlason et al. 2004) ou dans le contexte des organisations de santé (Wijewickrala & Takakuwa 2006). (Adenso-Diaz et al. 2002) ont également proposé un couplage de la recherche opérationnelle et de la simulation pour le dimensionnement et l'affectation des ressources. En se concentrant plus particulièrement sur les organisations liées aux PSS, (Meier & Funke 2010) ont proposé une heuristique de la planification des ressources, intégrée au sein d'une architecture de planification complète des ressources, qui vise à accroître l'agilité du système (Meier et al. 2013).

6 Conclusion

L'état de l'art effectué par rapport aux modèles représentatifs et aux modèles de simulation dans le contexte des PSS nous a permis de constater que les modèles conceptuels sont souvent axés sur :

- la conception et l'évaluation des PSS,
- la visualisation du cycle de vie,
- la visualisation des différents flux et acteurs.

Les modèles de simulation quant à eux sont souvent axés sur l' :

- analyse et l'évaluation environnementale et économique du cycle de vie PSS,
- analyse des facteurs, barrières et motivations, qui influencent la transition vers une offre PSS,
- analyse et évaluation de différentes offres et cas d'utilisation du PSS,
- analyse et simulation de l'interaction entre les différents acteurs du système PSS.

D'une part, nous avons soulevé l'absence d'une démarche de modélisation et de simulation dans le contexte PSS. D'autre part, nous avons identifié l'absence d'outils opérationnels de simulation prenant en considération les caractéristiques des PSS (comportement de client, interaction et interdépendance client-fournisseur du service...), centrés sur une entreprise (qui peut être une entreprise pivot dans un réseau d'entreprises) et en prenant en considération sa réalité opérationnelle (processus de production des produits et des services, compétences des ressources...). L'entreprise évoluera dans le contexte PSS et offrira de nouvelles opportunités de gestion, notamment pour les ressources humaines (Section 5). En effet, une possibilité d'analyser et d'évaluer des modes de gestion des ressources basés sur leurs compétences est offerte, et l'outil de simulation permettra ainsi d'en analyser un éventail de scénarios de gestion.

Dans le cadre de nos travaux de recherche, nous considérons la modélisation et la simulation comme un outil d'aide à la décision pour la transition vers une offre PSS. Nous nous appuyons sur des concepts déjà existants pour proposer une démarche de modélisation et de simulation adaptée au contexte des PSS (Chapitre 4) et des modèles conceptuels de l'entreprise orientée PSS (chapitre 5 et chapitre 6). Pour l'évaluation et l'aide à la décision, nous utiliserons la simulation à événements discrets afin de profiter de l'aspect « évènementiel » de cette approche et ainsi exploiter le couplage entre le système d'usage et le système productif d'une part, et entre les activités de services avec les activités de production d'autre part. Cette approche par simulation permettra également d'évaluer la sensibilité de l'ensemble des scénarios à différentes sources de variables.

Partie 2 : Contributions conceptuelles

Chapitre 4

Proposition d'une démarche de modélisation et de simulation adaptée aux systèmes de production orientés services

1 Introduction

La transition vers une offre PSS implique, implicitement et explicitement, la participation du client dans la création de valeur et dans le système de prestation de service. Afin de modéliser et de configurer les systèmes produits services, la prise en compte du comportement des clients/usagers dans une démarche de modélisation et simulation est nécessaire. Cela se justifie par le fait que l'entreprise change de modèle économique, en passant de la vente d'un produit, à la vente d'une fonction. Le produit n'étant plus une propriété des clients, mais de l'entreprise, cette dernière se doit d'avoir des informations sur les différents clients potentiels, sur ses clients/usagers et sur les types d'usages. Afin de configurer le système de production orienté PSS de manière qu'il réponde efficacement aux différents comportements des clients/usagers déclenchant des sollicitations du système productif, nous proposons une démarche de modélisation basée sur un couplage entre deux sous-systèmes, (i) la modélisation du système d'usage et (ii) la modélisation du système productif. Le sous-système d'usage (développé dans le chapitre 5) représente :

- Le comportement du marché global ;
- Le comportement du client vis-à-vis des différentes offres commerciales de l'entreprise ;
- Le comportement du client (en tant qu'utilisateur) vis-à-vis du produit et des services associés.

L'étude de la dynamique de ce sous-système nous permet de générer des sollicitations du système productif (SSP). En effet, dans le contexte d'un système productif orienté PSS, l'entreprise sera soumise à différents types de demandes (demandes en produits et en services) ; celles-ci dépendent du comportement du marché et de l'offre du contrat, des caractéristiques des produits et des services, des processus d'usage et des comportements des clients/usagers. La reconstitution de ces demandes ou « événements déclencheurs » est une étape primordiale lors d'une démarche d'aide à la décision. En effet, les SSP sont des signaux de demandes (en produits et en services) qui permettent de faire le lien entre le système d'usage (générateur de demandes) et le système productif de l'entreprise (sollicitations d'un ou plusieurs processus métier(s) de l'entreprise). Une approche de modélisation et de simulation du système d'usage permettra de reconstruire les différents types de demandes.

Le sous-système productif (développé dans le chapitre 6) correspond à l'ensemble des activités et processus métiers (**PM**) de l'entreprise ayant pour but de répondre aux besoins du système d'usage. Ces activités sont en charge de délivrer des services mais aussi des produits. Le sous système productif est aussi en charge du pilotage des flux de produits et des flux de services ainsi que des processus de production qui leur sont associés. La Figure 37 donne une vision globale du modèle conceptuel d'un système entreprise orienté PSS : le sous-système d'usage, le sous système productif et les sollicitations du système productif (SSP).

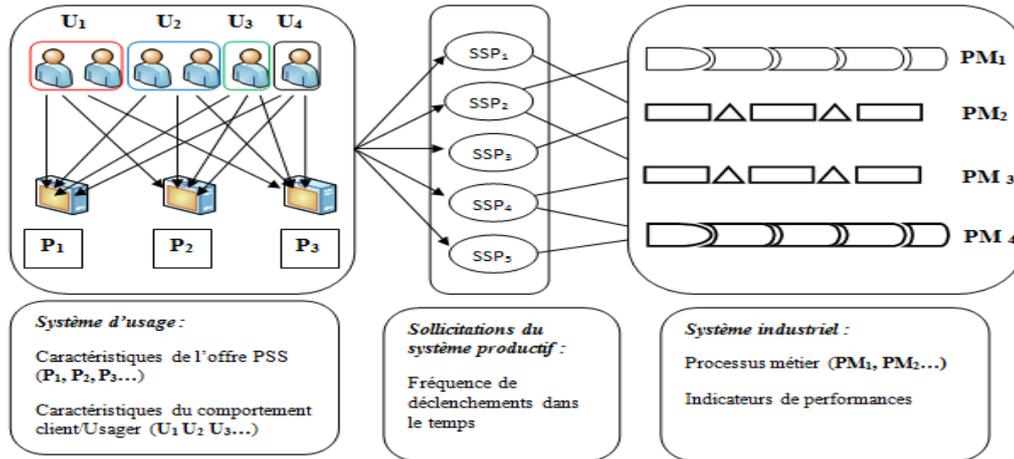


Figure 37 Modèle conceptuel du système entreprise orienté PSS

2 Démarche de modélisation proposée

2.1 Vue globale de la démarche

La démarche de modélisation proposée s'appuie essentiellement sur une analyse conceptuelle des systèmes productifs orientés PSS. En effet, un état de l'art sur les cadres (Framework) et modèles conceptuels a été effectué et nous a permis d'identifier le besoin d'une démarche de modélisation et de simulation dans le contexte de transition vers une offre PSS d'une part, et la prise en compte conjointe dans les modèles proposés du comportement des clients et des usagers ainsi que des processus productifs (services et production) d'autre part.

La simulation du système d'usage, du système industriel et leur couplage constitueront le support d'une aide à la décision pour analyser différentes configurations alternatives d'un système industriel destiné à délivrer des PSS. Notre vision d'une démarche de modélisation correspond à celle proposée par (Marques 2010). En effet, nous distinguons clairement le modèle conceptuel (modèle représentatif) et le modèle de simulation.

Notre approche s'inscrit dans une modélisation générique et orientée processus. Pour expliciter cette démarche, nous nous référons à deux étapes méthodologiques clés :

- Etape de spécification et construction des modèles conceptuels : cette étape a pour objectif de construire les modèles conceptuels. Elle sera discutée et spécifiée dans la section 3.1 à partir d'une analyse conceptuelle des systèmes productifs PSS, et en

Chapitre 4 Proposition d'une démarche de modélisation et de simulation adaptée aux systèmes de production orientés services

s'appuyant sur des études de cas (qui sont les Inputs principaux de notre démarche de modélisation). Nous avons construit des modèles conceptuels d'une entreprise orientée PSS ;

- Etape de construction et exploitation des modèles de simulation : cette partie permet le passage des modèles conceptuels au(x) modèle(s) de simulation(s). Les modèles de simulation seront ainsi mobilisés et exploités pour générer des résultats en termes de performance et effectuer une analyse et une étude de ces résultats. Cette étape sera discutée dans la section 3.2.

La démarche proposée (Figure 38) se différencie par rapport à celles déjà présentées dans l'état de l'art, du fait qu'elle prend en considération trois éléments importants :

- La notion de transition vers une offre PSS : la démarche proposée est construite pour répondre à un besoin spécifique d'aide à la décision. C'est celui d'une transition vers une offre PSS, et donc un besoin en aide à la décision pour ce changement (changement au niveau de l'offre économique et au niveau du système industriel). Une volonté d'explicitier cela en termes de reconfiguration de ces deux changements est clairement identifiée dans la démarche de modélisation ;
- Le couplage entre le système productif et le système d'usage : la démarche doit ainsi apporter une distinction claire entre les deux sous-systèmes, étant donné que les processus, les variables et la granularité des deux sous-systèmes diffèrent ;
- Processus de contextualisation : ce processus permet de spécifier d'une manière progressive le contexte de l'aide à la décision. Ce processus est défini par la spécification des cadres de conceptualisation, d'entreprise et d'analyse et d'évaluation (voir section 2.2 ci-dessous).

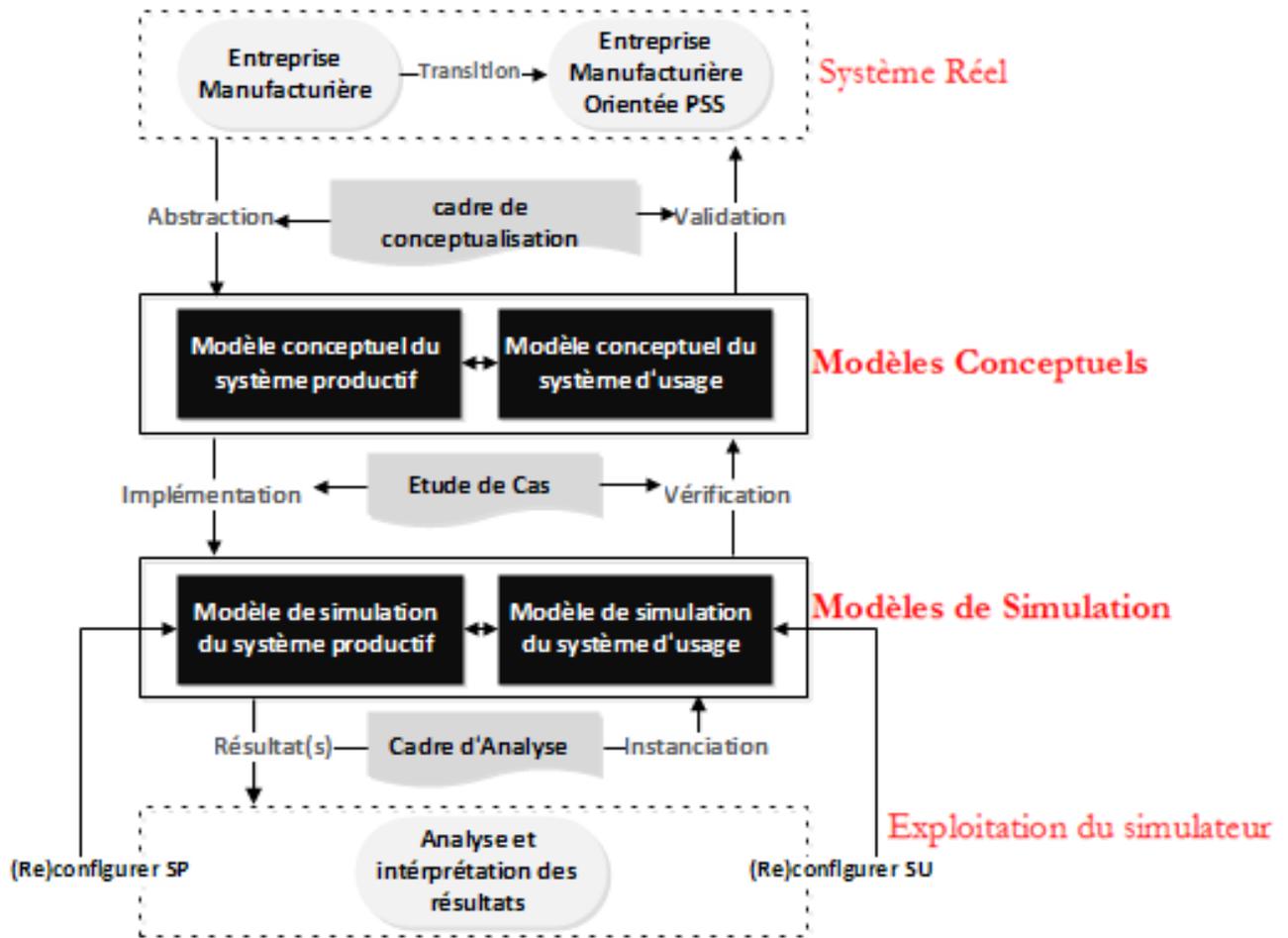


Figure 38 Démarche de modélisation et d'aide à la décision

2.2 Processus de contextualisation

Afin de mener à bien notre démarche de modélisation et d'aide à la décision dans le contexte PSS, une étape primordiale consiste à spécifier l'objet de l'étude, le contexte et le périmètre de l'étude, le focus de l'aide à la décision, ainsi que l'ensemble des variables de décision, des métriques d'évaluation et les paramètres d'analyse. Nous proposons un processus de contextualisation permettant d'affiner, au fur et à mesure de la modélisation et de la simulation, les modèles proposés et les analyses qui seront faites. Ceci permettra de garder une certaine genericité du modèle et la possibilité de réutilisation de celui-ci pour différents contextes. Ce processus permettra de détailler le contexte et le périmètre de l'étude, et donc le cadre de la décision.

Le processus de contextualisation se fait d'une manière progressive en suivant la démarche de modélisation et de simulation. Comme support à ce processus, des connaissances génériques sur le processus de servicisation (exemple : changement de l'offre économique de contrat, changement au niveau des processus industriels...), sur les PSS (non-cessions de propriété, paiement à l'usage ou au résultat, intégration de services le long du cycle de vie du produit...), sur l'entreprise dans le contexte PSS et sur la volonté et l'enjeu décisionnel défini par les décideurs seront mobilisés.

Comme le montre la Figure 39, le processus de contextualisation s'effectue à trois niveaux :

- Cadre de conceptualisation : le premier niveau de contextualisation consiste à définir un cadre de conceptualisation en répondant aux questions suivantes : « Quels sont les objectifs d'aide à la décision recherchés ? », « Quel est le périmètre d'étude de la servicisation ? ». A ce niveau de contextualisation, les modèles conceptuels seront adaptés à l'enjeu et au périmètre d'aide à la décision souhaité (exemple : si l'enjeu décisionnel est l'étude de la transition vers une offre PSS d'un point de vue d'analyse des risques, de gestion des capacités ou d'évaluation environnementale, les modèles conceptuels ne seront pas similaires). Les modèles conceptuels peuvent être réutilisés lorsque l'enjeu décisionnel est similaire ;
- Cadre d'expérimentation : le deuxième niveau de contextualisation correspond à la construction des modèles de simulation. Cette étape permet de prendre en considération les caractéristiques et spécificités industrielles (processus de production, caractéristiques de l'offre et du marché, comportements des clients, gamme de fabrication, nomenclature des produits...). Ces modèles de simulations seront construits en se basant sur le modèle conceptuel relatif à l'enjeu décisionnel (contexte de conceptualisation) et sur les spécificités du cas étudié (l'entreprise) ;
- Cadre d'évaluation : le dernier niveau de contextualisation est relatif à l'étape d'exploitation des modèles de simulation. En effet, les décideurs peuvent mener un ensemble d'analyses (en s'appuyant sur des mesures et indicateurs de performances) sur différents leviers de décision, de paramètres d'analyse et de sources d'incertitudes affectant la performance, et donc la décision. Le cadre d'évaluation permettra ainsi de spécifier l'ensemble des variables de décision à analyser, les sources d'incertitudes, les paramètres fixes et les différents indicateurs de performances.

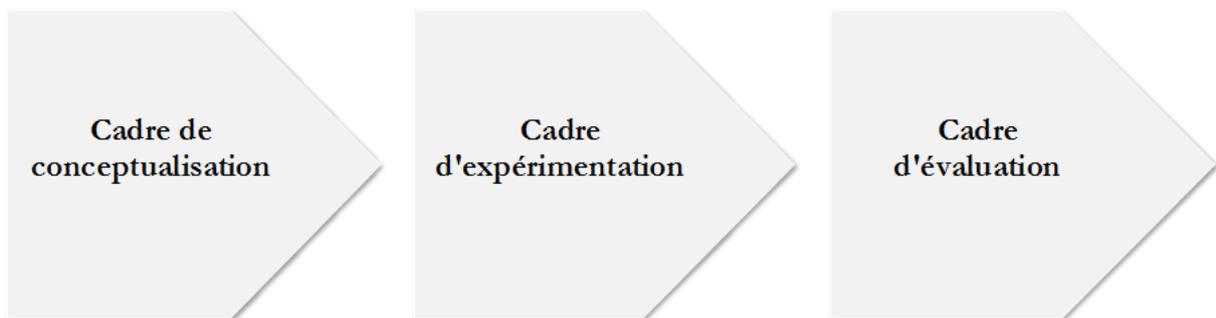


Figure 39 Processus de contextualisation

3 Description de la démarche

3.1 Spécification et construction des modèles conceptuels

Cette phase a comme objectif de construire le modèle conceptuel du système d'usage correspondant à l'offre PSS, au marché et aux comportements des clients/usagers et le modèle conceptuel du système productif qui fabrique le produit industriel et offre et assure les prestations

de services. Ces deux modèles conceptuels sont complémentaires et dépendants. En effet, l'offre est mise à disposition des clients par un système productif, et l'activité de ce dernier est soumise aux sollicitations du système d'usage (sollicitations en service et demandes en produits). En plus des modèles conceptuels d'usage et productif, nous proposerons, dans cette phase, de spécifier le cadre de conceptualisation répondant aux besoins de l'aide à la décision recherchée. C'est ce cadre de conceptualisation qui définira le périmètre de modélisation ainsi que les objectifs décisionnels. La Figure 40 illustre la démarche de construction des modèles conceptuels.

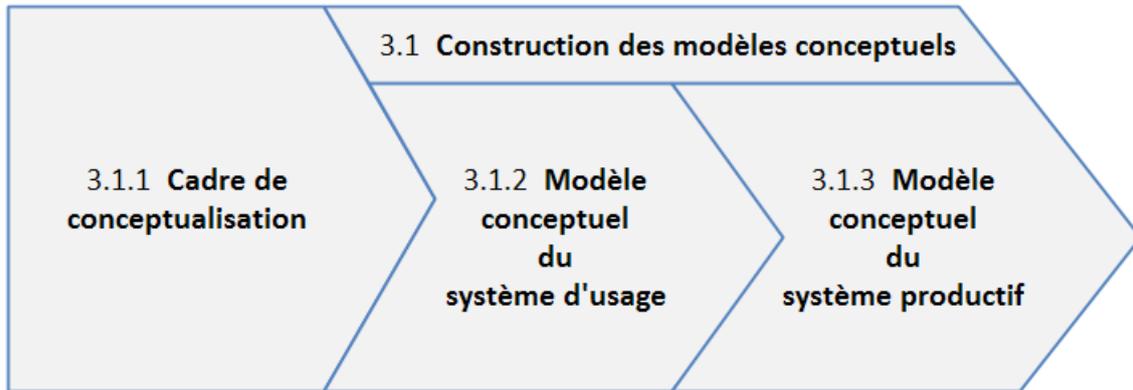


Figure 40 Etapes de spécification et construction des modèles conceptuels

3.1.1 Définition et spécification du cadre de conceptualisation

Le cadre de conceptualisation permet une première contextualisation de la démarche de modélisation et de simulation. L'objectif de la modélisation (ou l'objet de modélisation) doit être clairement défini. Compte tenu des objectifs, le cadre de conceptualisation formalise : (i) ce qu'il est utile d'observer concernant la transition pour répondre aux objectifs d'analyse (ceci impactera directement la granularité et l'abstraction faite du système réel), (ii) les processus et variables de modélisation à considérer.

3.1.2 Modèle conceptuel du système d'usage

Dans le cas d'une offre PSS, le système productif est confronté à des demandes particulièrement complexes. La modélisation des signaux de demandes (sollicitations d'activation de services variés) nous semble être un des verrous importants de notre démarche, pour deux raisons principales :

- Par nature, l'offre est conçue pour s'adapter au mieux aux exigences des clients. Le panel de l'offre est donc, par définition, très diversifié. Or, le comportement de décision du client, c'est-à-dire son positionnement vis-à-vis de l'offre commerciale influence fortement le fonctionnement du système productif. Une représentation et une simulation fine de ce processus et de cette diversité doivent donc être des éléments clés de notre modélisation ;
- L'étude des entreprises orientées service (ou PSS) pose également le problème de la demande liée à l'utilisation du produit après que l'offre commerciale a été choisie. Il faut donc être capable de représenter et simuler la source de ces sollicitations de service associées à l'usage du produit par le client/usager. Nous représenterons donc des processus d'usage afin de reproduire les sollicitations et signaux de demandes.

Chapitre 4 Proposition d'une démarche de modélisation et de simulation adaptée aux systèmes de production orientés services

Pour un PSS orienté usage, cette étape est consacrée à l'identification des caractéristiques pertinentes de l'offre PSS et de la clientèle. Les caractéristiques de l'offre correspondent par exemple aux bouquets de services, aux types de produits, aux types de contrats, à la qualité de service ; les caractéristiques de la clientèle peuvent être de nature comportementale (sensibilité décisionnelle et perception des services). L'ensemble de ces variables constitueront, selon le cadre d'analyse, des leviers de décision, des paramètres et des sources d'incertitudes.

Le modèle conceptuel du système d'usage sera constitué de deux sous-modèles : le modèle conceptuel des comportements commerciaux (Figure 41), et le modèle conceptuel de comportements d'usage (Figure 42). Les deux figures illustrent les différents objets que nous considérons dans le modèle conceptuel. Nous allons développer plus en détails ces différents éléments dans le chapitre suivant.

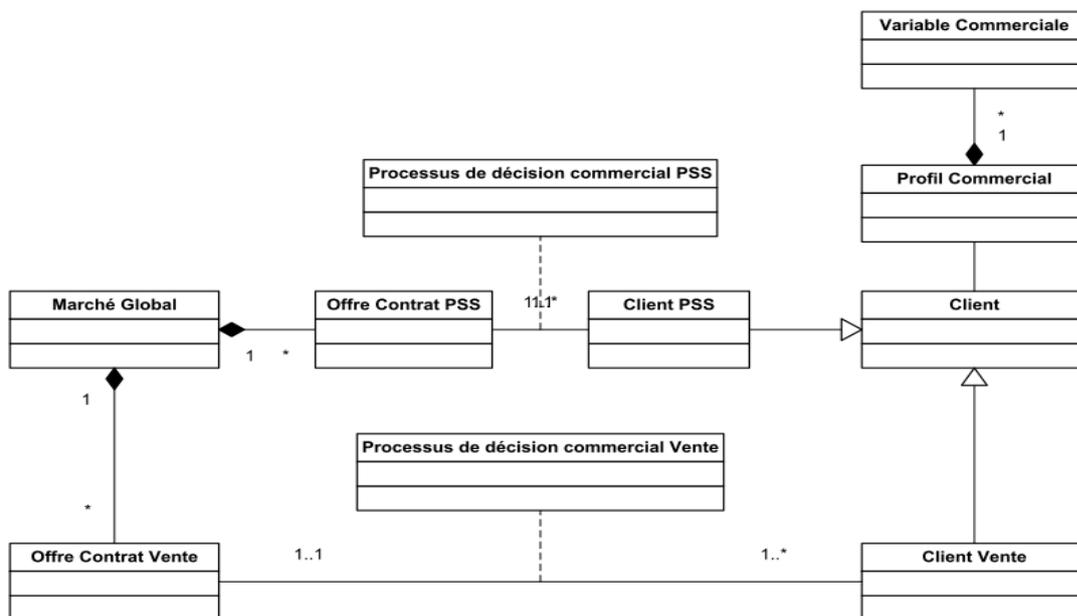


Figure 41 Eléments constitutifs du modèle du sous-système commercial

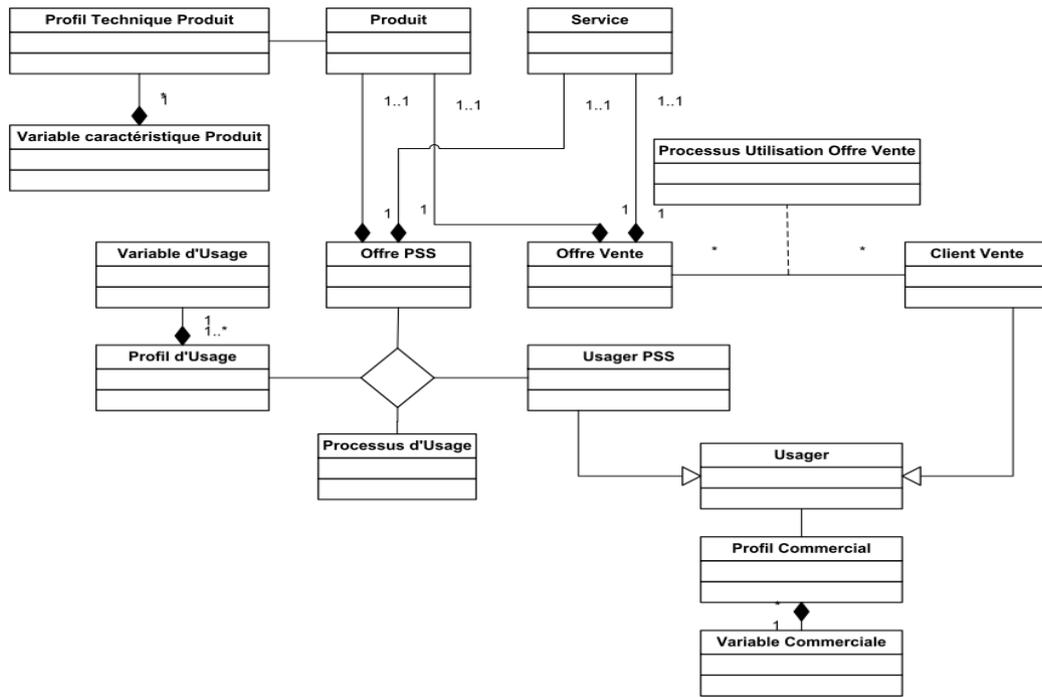


Figure 42 Elements constituant le modèle du sous-système d'usage

3.1.3 Modèle conceptuel du système productif

Dans les offres PSS, la notion de vente de fonctionnalités change la manière d'appréhender la performance de l'entreprise. En effet, le client est impliqué dans toutes les phases du cycle de vie du produit. Tout au long du cycle de vie (ou cycle d'usage) du produit, l'entreprise propose un ensemble de services à ses clients. La non cession de la propriété implique que l'entreprise soit en charge (directement ou indirectement) de la récupération et du remanufacturing de ses produits ; un processus de revalorisation est alors nécessaire pour prendre en charge les produits récupérés. Le système de production orienté PSS englobe un sous-système de production manufacturière (fabrication et revalorisation) mais aussi un sous-système de production de services (servuction). Ces systèmes sont pilotés à la fois d'une manière locale et globale par un système de pilotage (Figure 43).

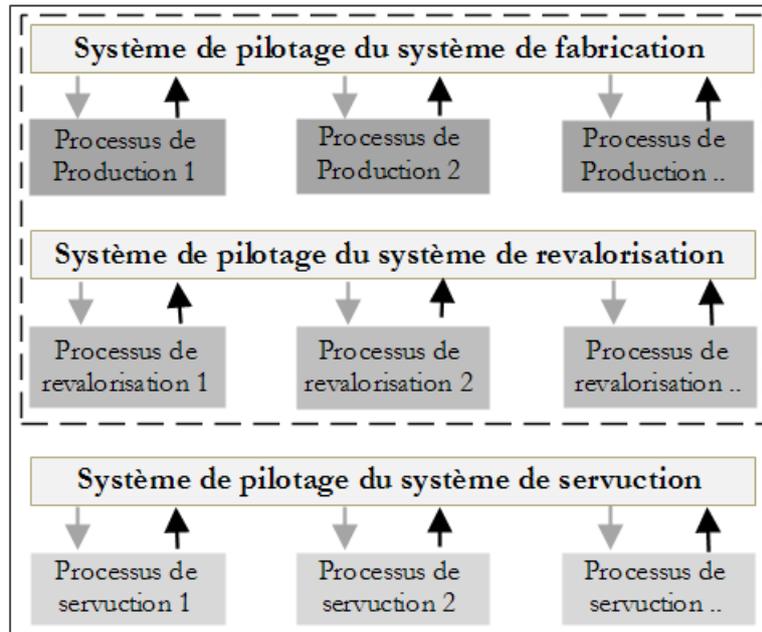


Figure 43 Modèle conceptuel du système productif proposé

3.2 Construction des modèles de simulation

Après avoir construit des modèles conceptuels du système productif et du système d'usage, et après avoir défini clairement le cadre de conceptualisation, l'étape suivante est celle de l'utilisation du modèle conceptuel pour la construction des modèles de simulation puis pour leur exploitation. Pour pouvoir faire cela, nous avons besoin du deuxième niveau de contextualisation : la spécification du cadre d'entreprise (Figure 44). Le modèle conceptuel est alors contextualisé par rapport à l'étude de cas et puis retranscrit en un ensemble d'instructions exécutables sur machine (simulateur le cas échéant).

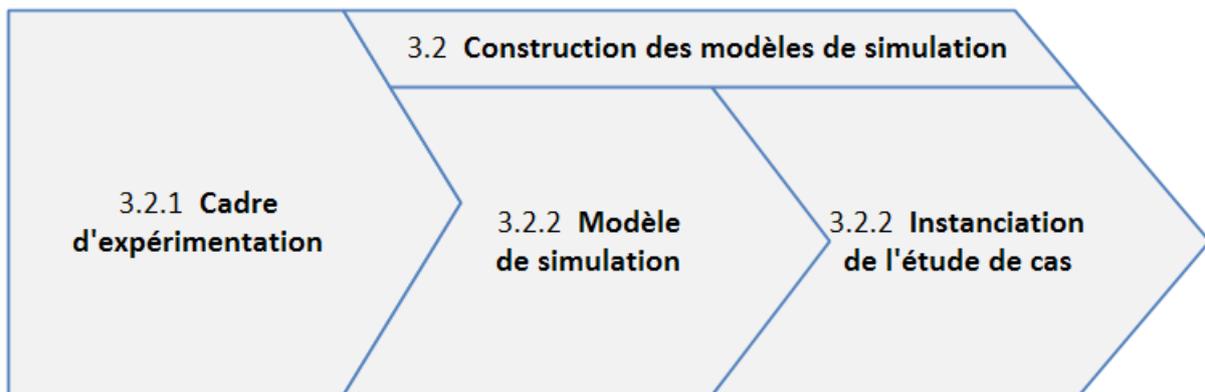


Figure 44 Etapes de construction des modèles de simulation

3.2.1 Définition et spécification du cadre d'expérimentation

La description d'un cas d'étude fournit le contexte et des informations (données) concernant à la fois le système d'usage et le système productif de l'entreprise. L'étude de cas doit être réalisée en s'appuyant sur les modèles conceptuels. Les besoins de la collecte de données sont alors déduits directement des modèles conceptuels.

Au niveau du système d'usage :

- Caractéristiques et évolution du marché de l'entreprise ;
- Caractéristiques de l'offre de l'entreprise (bouquets de services, types de produits, qualité de services...);
- Caractéristiques des clients (processus de décision commerciale, utilisation des produits...).

Au niveau du système productif :

- Informations sur les processus de l'entreprise (durées opératoires, ressources humaines et matérielles nécessaires...);
- Informations sur les flux (gammes et nomenclatures des produits, description des flux...)
- Informations sur les stocks ;
- Informations sur les politiques de gestion (gestion de la production, gestion des stocks, gestion des ressources...).

3.2.2 Construction du modèle de simulation et instanciation de l'étude de cas

La construction du modèle de simulation correspond à la retranscription et reproduction du fonctionnement de l'entreprise sur un outil informatique. Le modèle de simulation est constitué des différents processus calqués sur ceux de l'entreprise, d'un ensemble de variables (que nous allons différencier plus tard selon leur fonction dans le simulateur) et de mesures de la performance. Le modèle de simulation sera le support d'évaluation et d'analyse du système étudié (système réel).

3.3 Analyse et interprétation des résultats

Pour évaluer d'une manière structurée les différents scénarios du décideur lors d'une transition vers le PSS, nous définissons un troisième niveau du processus de contextualisation appelé le *cadre d'évaluation*. Celui-ci est défini par :

1. **Des leviers de décision** : ils correspondent aux variables traduisant l'objectif du décideur. L'aide à la décision recherchée sera traduite en un ensemble de variables. A titre d'exemple, pour l'objectif de gestion des capacités, les leviers comme l'affectation et la formation des ressources peuvent être considérés.
2. **Des paramètres d'analyse** : ce sont des variables fixées dans le contexte d'une étude de cas donnée, l'ensemble des scénarios sera soumis aux mêmes valeurs que ces variables.
3. **Des facteurs d'incertitudes** : ce sont les variables sur lesquelles les décideurs estiment n'avoir pas beaucoup de connaissances ; cette incertitude concerne les valeurs et modalités possibles. Ces facteurs doivent être pris en considération dans une aide à la décision pour pouvoir effectuer une analyse la plus « objective » possible.
4. **Des Indicateurs de performance** : ils constituent des mesures (de base ou agrégées) qui reflètent au mieux les besoins des décideurs et qui permettent de traiter les objectifs d'analyse préalablement définis.

Pour mener à bien la campagne de simulation, un plan d'expériences regroupant un ensemble de scénarios définis par des leviers de gestion industrielle (leviers relatifs au système productif), des leviers de configuration de contrat (leviers relatifs au système d'usage) et des sources d'incertitudes doit être mis en place. L'analyse de ce plan permettra, à terme, de formuler des consignes et conclusions de gestion pour la transition vers une offre PSS.

La comparaison des différents scénarios sera réalisée sur la base d'indicateurs de performance choisis dans le cadre d'analyse et d'évaluation. Compte tenu du couplage que nous étudions, l'analyse des résultats peut être structurée en deux points :

- Analyse de l'interaction entre des variables relatives au système productif et celles relatives au système d'usage. Elle permet ainsi d'analyser l'impact de la variation des paramètres du système d'usage sur la performance du système productif (et vice versa).
- Aide à la configuration du système d'usage et du système productif. Elle permettra l'identification des configurations « favorables » compte tenu du cadre d'évaluation.

4 Conclusion

Le chapitre nous a permis, compte tenu de l'état de l'art relatif à la modélisation et simulation dans le contexte PSS de proposer une démarche de modélisation et de simulation pour le contexte de transition vers une offre PSS.

Nous avons ainsi proposé une démarche de modélisation et de simulation basée sur un couplage de deux sous-systèmes. Les deux sous-systèmes (système d'usage et système productif) sont interconnectés et interdépendants. Ce couplage nous permet de représenter à la fois le comportement et la dynamique du système industriel et productif ainsi que celui relatif à la dynamique et au comportement du client/usager et du marché. Ce couplage nous permet aussi de prendre en considération les différentes boucles de rétroactions (feedback) qui entrent en jeu, du système d'usage vers le système productif. Par ailleurs, la démarche de modélisation doit être lue à la lumière du processus de contextualisation que nous proposons. Ce processus permet une généralité et une réutilisabilité des modèles dans des contextes similaires (soit au niveau du cadre de conceptualisation, soit du cadre entreprise).

Les chapitres que nous allons développer par la suite suivront cette démarche de modélisation et de simulation. En effet, l'étape de spécification et construction des modèles conceptuels par rapport au cadre de conceptualisation défini sera appliquée dans les chapitres 5 et 6 pour aboutir, respectivement, à un modèle conceptuel du système d'usage et un modèle conceptuel du système productif. Suivra alors l'étape de construction et d'exploitation des modèles de simulation qui feront objet, respectivement, des chapitres 7 et 8.

Chapitre 5

Spécification du modèle conceptuel du système d'usage

1 Introduction

Ce chapitre se focalisera sur la partie « construction et spécification de modèles conceptuels » de l'approche de modélisation et de simulation proposée dans le chapitre 4. Ce chapitre concernera le modèle conceptuel du système d'usage. Pour se faire, nous allons commencer par un état de l'art sur la notion de l'« usage ». Ensuite nous allons proposer et spécifier le modèle conceptuel du système d'usage. Un modèle constitué de deux sous-systèmes : un sous-système de comportements commerciaux (client face à l'offre de contrat) et un sous-système de comportements d'usage (client et utilisation de l'offre de contrat). Ces deux sous-systèmes seront formalisés et conceptualisés dans ce chapitre.

2 Etat de l'art sur la notion du « système d'usage »

2.1 La notion d' « usage »

Dans la langue française l'« usage » renvoie classiquement à l'action, au fait de se servir de quelque chose. Etudier l'usage revient donc à observer, à interpréter les actions, l'emploi réel du produit en question pour en comprendre le fonctionnement perçu par l'utilisateur. Si, le terme « usage » rassemble de nombreuses significations, elles sont largement orientées vers un même paradigme : l'analyse des pratiques des utilisateurs (Buisine & Roussel 2008). La problématique d'analyse des usages renvoie donc à des méthodes visant à recueillir et analyser des données sur les usages, pour informer la prise de décisions dès la conception (Nelson 2011). Ces méthodes sont notamment abordées dans deux champs scientifiques : le marketing et l'ergonomie.

L'ergonomie est une discipline scientifique qui vise à comprendre les interactions entre l'homme et ses moyens, méthodes et milieux de travail. L'ergonome est donc, par définition, clairement focalisé sur l'interaction entre l'homme (usager) et un système (organisation, produit/service). Ce point de vue « utilisateur » porté sur le système d'usage lui permet de modifier la conception d'un système pour améliorer la valeur ressentie par le futur usager.

En complément, le marketing s'intéresse notamment à mieux comprendre le client et à anticiper les usages afin de gérer une offre adaptée aux attentes (Kotler 1999). Cette discipline apparaît donc comme l'interface entre l'offre de l'entreprise et les attentes et besoins de ses clients (voire des clients potentiels). Ainsi d'un point de vue marketing et d'étude des besoins des clients, nous

constatons l'écllosion de nouveaux concepts et solutions d'offres qui s'adaptent aux besoins des clients, parmi lesquels la notion de « service-dominant logic » portée par (Vargo & Lusch 2004), (Vargo & Lusch 2008). Celle-ci traduit la servicisation des systèmes productifs non pas par un ajout graduel de services à l'offre principale restée matérielle, mais par un repositionnement stratégique total des entreprises en termes de création de valeur. A propos du questionnement de (Kowalkowski et al. 2011) sur les implications concrètes pour les firmes du « Service Dominant Logic », l'auteur conclut que la plupart des firmes se sont arrêtées au stade de l'ajout ponctuel de services à une offre matérielle classique.

Au final, les visions des spécialistes de l'ergonomie et du marketing ouvrent explicitement la voie à la distinction de deux grandes familles de comportements d'un usager :

- (i) l'usager dans son positionnement face à l'offre commerciale, l'ensemble de produits et services pour lesquels il est prêt à payer pour satisfaire un besoin perçu ;
- (ii) l'usager dans son utilisation effective du bien et donc les besoins réels induits par cet usage en matière de services.

Afin de converger vers un modèle conceptuel de système d'usage, nous présentons quelques travaux de modélisation du système d'usage, structurés selon la distinction que nous venons d'établir : les comportements de l'usager, d'une part dans son positionnement face à l'offre commerciale, et d'autre part dans son utilisation effective du bien.

2.2 L'usager face à l'offre commerciale

L'offre commerciale est définie par un ensemble de contrats PSS puis elle est déclinée d'une manière personnalisée pour chaque client (ou un ensemble de clients) (Roy & cheruvu 2009). Les clients sont en mesure de faire un retour d'expériences sur les fonctionnalités du produit et la performance des services proposés et, si nécessaire, de demander un possible changement de produits ou d'exiger une meilleure qualité de service (Mont 2002). La modification du contrat peut ainsi avoir lieu en phase d'usage du produit, désignée par (Roy & Cheruvu 2009) comme la phase d'adaptation de l'offre par rapport aux besoins du client. Par ailleurs, la disponibilité des produits et la performance des activités de service peuvent influencer la fidélité des clients. Tous ces éléments montrent la complexité du système commercial ; les implications du client induisent des comportements dynamiques qu'il faut prendre en considération.

La modélisation et la simulation nécessitent que l'offre de service elle-même soit décrite plus précisément, et que le comportement des clients soit modélisé. Pour ce qui est de la définition du contrat dans la littérature, elle se fait par exemple, en termes de : type de produits (ex. : professionnel, domestique...) (Komoto et al. 2005) ; durée de contrats (Komoto et al. 2005), et délais d'exécution de la prestation (Phumbua & Tjahjono 2012). La plupart du temps, différents types de services sont distingués : réparation, maintenance, récupération pour recyclage, installation. (Henkel et al. 2004) et (Kowalkowski 2008) précisent également que le regroupement de services au sein d'offres globales, ou bouquets de services (« bundled services ») est une pratique courante chez les prestataires qui cherchent à rationaliser leur système productif. Dans ce cas, le client ne se positionne plus individuellement sur chaque service proposé par le prestataire mais sur une offre globale regroupant un certain nombre d'entre eux. Tout modèle de

comportement du client vis-à-vis de cette offre doit donc tenir compte de cet aspect global de l'offre en reflétant des inclinaisons générales d'un profil de client plutôt qu'en sommant des besoins ponctuels précis d'un utilisateur.

Par ailleurs, pour la modélisation du comportement des clients, on retrouve les travaux de (Komoto et al. 2005) qui modélisent, d'une manière globale et non détaillée, le comportement commercial du client. Ces modèles centrés sur l'utilisation se contentent d'une description du marché à travers un volume de marché total, le plus souvent fixe dans le temps (« Market size »). La difficulté de modéliser le comportement commercial des clients réside dans le manque d'information par rapport à la façon dont se construit la satisfaction des clients (Aurich et al. 2006)(Weber et al. 2004) (Morelli 2002).

2.3 L'utilisateur face à son utilisation effective du PSS

La simulation du Cycle de Vie a été développée en vue d'évaluer la performance des cycles de vie de produits en permettant une reconstruction de la dynamique comportementale des usagers à partir de processus stochastiques (Komoto et al. 2005). La simulation de ces changements d'état du consommateur et de leurs implications sur la vie du ou des produits associés permet d'en analyser les performances économiques et environnementales. La simulation à événements discrets est l'outil le plus utilisé dans ce domaine. A la différence de l'Analyse des Cycles de Vie qui observe des scénarios moyens d'utilisation des produits, la représentation des conséquences de l'occurrence d'événements sur le cycle de vie du produit est au cœur de la Simulation du Cycle de Vie. Dans cette approche, tous les acteurs dans un système produits-services sont modélisés, ainsi que leurs interactions : l'acteur usager et son influence dans la construction du PSS, l'acteur état et sa contribution au projet par la législation et les subventions, l'acteur fournisseur de services et son rôle clé de prestataire qui induit plus de responsabilités et donc d'interactions avec l'utilisateur. Cette vision « acteur » est présente, par exemple, dans les travaux de (Morelli 2006) dans la modélisation d'un système d'usage de vélos publics.

Dans leurs modèles de simulation du cycle de vie de la machine à laver, (Komoto et al. 2005) ou (Wangphanich 2011) accordent une place importante à la caractérisation du produit. Ce dernier est caractérisé par tout ou une partie des éléments suivants : une durée de vie ; une capacité maximale d'opérations par unité de temps (semaine) ; une capacité maximale de fonctionnalité par opération (kg/opération) ; un taux de panne ; une propension à l'usure (en nombre d'opérations) ; la réparabilité (oui/non) ; la réutilisabilité (oui/non). Non focalisés sur la machine à laver, (Takata & Kimura 2003) ajoutent une fonction d'obsolescence pour modéliser de perte progressive d'intérêt du client pour le PSS. Ils introduisent également une différenciation entre produit et composant qui induit la nécessité de décliner les notions de réutilisabilité sur chacun des composants.

Quant à l'utilisateur, il est décrit par un besoin fonctionnel par unité de temps (kg de vêtements par an, par exemple, pour (Komoto et al. 2005). De manière générale, la définition de ce besoin fonctionnel constitue un moyen de quantification de la satisfaction du client. (Phumbua & Tjahjono 2012) ajoutent d'autres critères associés au niveau de tolérance du client sur les délais et la qualité des prestations. De plus, il peut être important de traduire l'interaction entre l'utilisateur et le produit par un niveau d'intensité d'utilisation d'un produit par un usager (Wangphanich

2011)(Phumbua & Tjahjono 2012). Dans des travaux traitant de la problématique de planification des opérations de maintenance, la modélisation de l'apparition des besoins client est une problématique à part entière (Duffuaa et al. 2001). (Gupta et al. 2003) soulignent, par exemple, la difficulté à prévoir la sollicitation future de services de réparation et de maintenance. Le recours à des processus stochastiques pour modéliser cette incertitude est alors quasi automatique. (Jagtap & Johnson 2011) trouve que les informations pertinentes et utiles requises pour la conception des PSS sont principalement celles relatives à la détérioration du produit (les mécanismes de détérioration, les effets de détérioration, les causes de détérioration, etc) ainsi que les facteurs tels que la défaillance d'un composant, les conditions d'exploitation, de maintenance, le coût du cycle de vie et la fiabilité ...

3 Spécification du modèle conceptuel du système d'usage

Dans le cas d'une offre PSS, l'entreprise opère dans un contexte fortement dynamique. Les modèles prédictifs classiques de la demande s'avèrent limités par le manque de données, d'historiques ou la granularité des modèles (Fisher 1997).

Nous proposons une approche qui s'appuie sur la modélisation et la simulation de différents profils de clients/usagers. Les comportements associés à ces profils vont influencer les comportements de l'entreprise : d'une part, au niveau des politiques de configuration de contrats, et, d'autre part, au niveau de la gestion de la production et des capacités.

En référence à notre analyse préalable, le modèle du système d'usage est destiné à représenter un ensemble d'activités ou de processus directement liés aux comportements des clients/usagers, et indépendants des contraintes internes au système productif (si ce n'est à travers l'offre et les prestations générées effectivement par ce dernier).

Ce modèle de système d'usage a pour objectif, de reconstruire la dynamique de sollicitations du système productif. Dans cette optique nous allons modéliser au sein du système d'usage deux types de comportements du client/usager :

- (i) des comportements commerciaux liés au marché et aux décisions d'achat (achat pouvant signifier ici contrat de prestation de service). Dans la suite, nous utiliserons l'appellation « client », plus adaptée, pour faire référence à ce type de comportements ;
- (ii) des comportements d'utilisateur de l'offre PSS. Dans la suite, nous utiliserons l'appellation « usager », plus adaptée, pour faire référence à ce type de comportements.

Une vue globale du modèle conceptuel de système d'usage est représentée par la Figure 45.

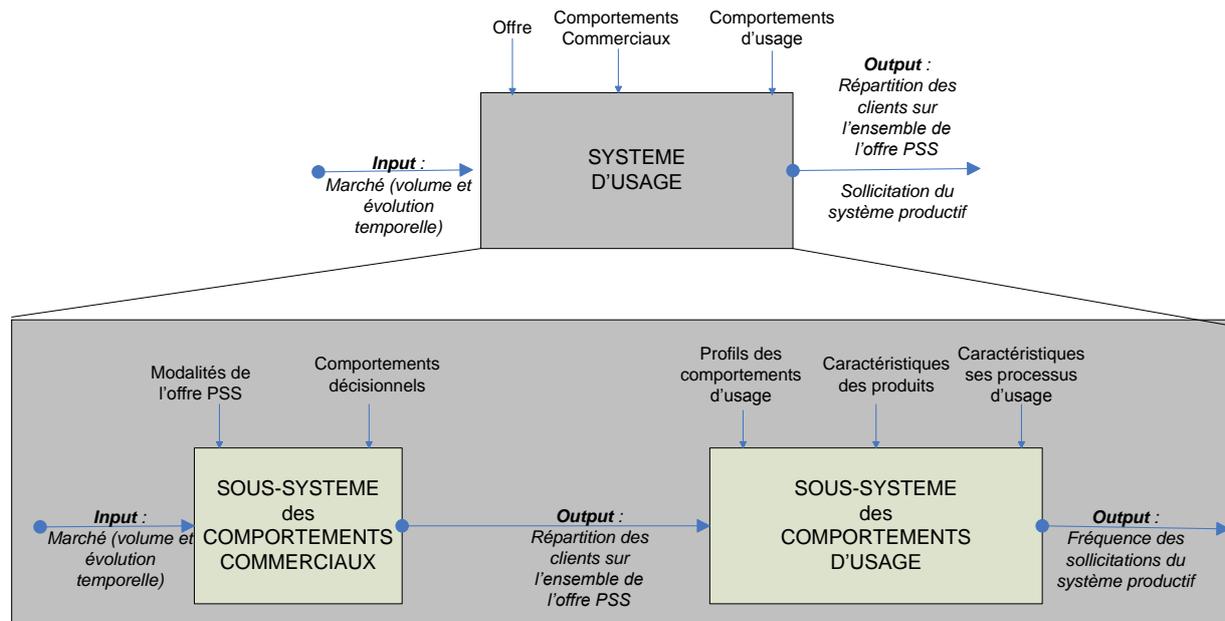


Figure 45 Modèle conceptuel du système d'usage proposé

- Le « sous-système des comportements commerciaux » a pour but (en output) de fournir un modèle de la répartition de l'ensemble des clients sur une offre de PSS. Considérer plusieurs profils commerciaux de clients permettra de représenter et d'appréhender la variabilité de la demande. La prise en compte de cette variabilité par les entreprises leur permettra d'évaluer différentes alternatives au niveau de la configuration et de la gestion des systèmes de production d'une part, et au niveau de la configuration de leur offre de contrat (notamment en termes de durée de contrat, de garantie de service et de bouquet de service) d'autre part.

Ce sous-système inclut, d'une part, une représentation de certaines caractéristiques du marché (en volume et en évolution temporelle) et, d'autre part, une représentation de comportements décisionnels des clients par rapport à l'offre PSS selon leur profil commercial.

- Le « sous-système des comportements d'usage » a pour but de fournir (en output) des modèles de l'évolution temporelle des fréquences pour les différentes sollicitations du système productif. A partir de la répartition des clients sur l'offre PSS, nous représentons des comportements types d'usage du produit inclus dans le PSS, et des comportements types de sollicitation des prestations de services. Il faut noter que ces comportements dépendront de différentes caractéristiques : profils comportementaux des usagers, caractéristiques propres au produit, et caractéristiques relatives aux processus d'usage du PSS.

Tout en respectant les caractéristiques génériques de ce modèle conceptuel, les processus décisionnels modélisés par le premier sous-système et les processus d'usage pourront être spécifiques à chaque cas d'étude. Les différents éléments pris en considération dans le système d'usage sont représentés par la Figure 46.

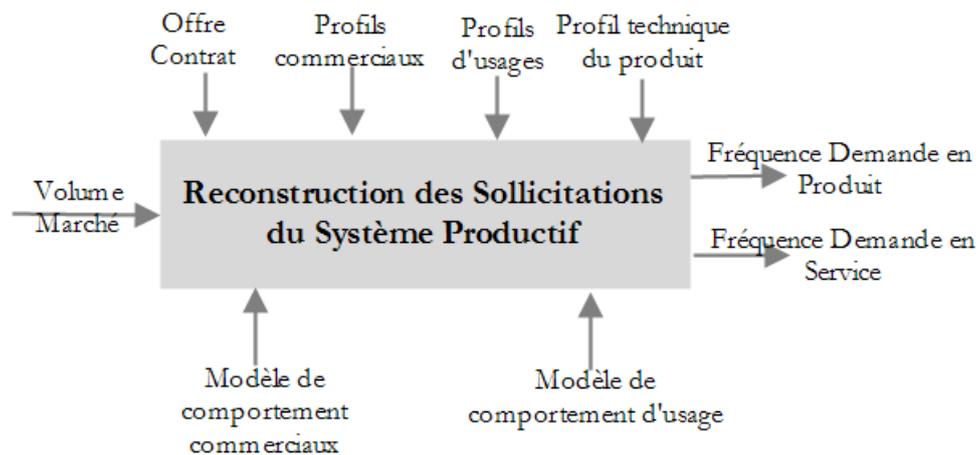


Figure 46 Modèle SADT du système d'usage proposé

4 Formalisation des comportements commerciaux

La demande est générée par un ensemble de clients ayant des profils différents et par conséquent des attentes et besoins tout aussi différents. Nous souhaitons donc prendre en considération les besoins des clients dès la soumission d'une demande. Dans la majorité des travaux de simulation présentés par (Terzi & Cavalieri 2004), la demande est considérée comme un paramètre d'entrée.

L'objectif de ce sous-système est de modéliser le comportement d'une clientèle par rapport à une offre de type PSS. Dans cette optique nous allons caractériser le marché global, l'offre de PSS et le comportement décisionnel des clients potentiels. Cette section est consacrée à la présentation des profils de clients ainsi qu'à la description des modes et processus des décisions commerciales. A travers la définition de ces profils, il s'agit de préciser les paramètres qui influencent la décision d'achat et le positionnement des clients sur l'offre de contrats.

Le modèle présenté sur la Figure 47 nous permet de distribuer le volume total de marché par rapport à deux types de marchés (PSS ou traditionnel), pour chaque type de produit, pour chaque offre de contrats et pour chaque profil de client. L'évolution de la demande pour chaque profil client nous permet de suivre d'une manière fine chaque profil de client et ses attentes par rapport au système productif (des profils clients seront plus sensibles au taux de service de l'entreprise par exemple, et ces clients seront plus susceptibles de quitter le système et d'arrêter le contrat s'ils n'obtiennent pas satisfaction).

Les différents outputs attendus de ce modèle sont des courbes temporelles exprimées en fréquences quotidiennes de demandes pour chaque output.

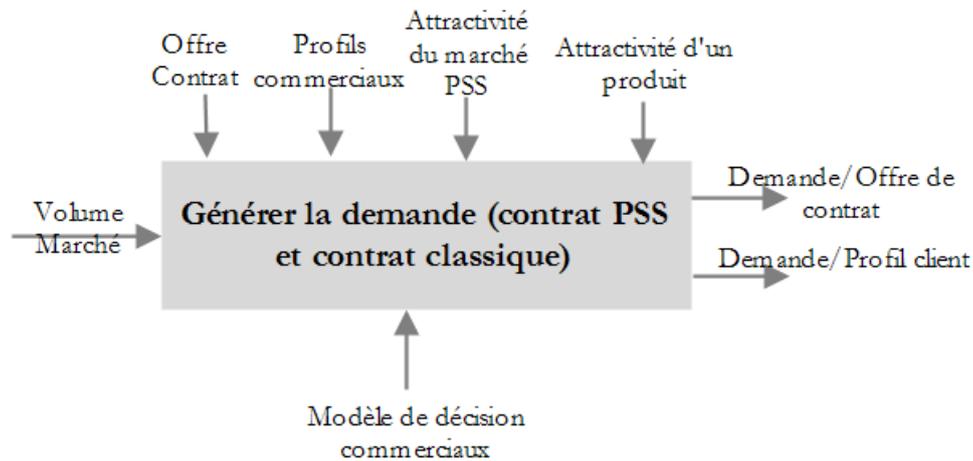


Figure 47 Modèle SADT du système des comportements commerciaux

4.1 Marché global

Par hypothèse, nous modélisons un marché correspondant à une famille de produits, qui correspond à un ensemble de Types de Produits (TP_i) ayant la même fonctionnalité, et qui diffèrent en termes de qualité (au sens large). Une famille de produits r sera notée $FP_r = \{TP_i/i = 1 \dots n\}$ caractérisable par un volume de marché global (volume de Marché PSS et volume de marché traditionnel) pour une entreprise donnée E .

Nous modélisons par la variable ($VFP_{r,t}$) l'évolution temporelle (mensuelle) du volume de marché de l'entreprise E pour la famille de produits r . Cette variable est définie comme quantité agrégée de la demande globale pour une famille de produits (demande globale pour une famille de produits/période).

Par ailleurs, dans la mesure où nous cherchons à étudier des situations de transition de l'entreprise E depuis un marché initial traditionnel (non PSS noté NPSS) vers un marché avec PSS, nous devons d'une part, désagréger la demande selon le type de produits, et selon le type de marchés (Traditionnel ou PSS) :

- Eclatement de la demande globale selon le type de marché : nous définissons pour cela la variable continue $Attra_PSS \in [0, 1]$ qui permet de modéliser la part du marché PSS (notée $VFP_{r,t}^{PSS}$) par rapport à une famille de produit et au marché global (PSS + Traditionnel).

Pour le marché PSS nous aurons alors $VFP_{r,t}^{PSS} = VFP_{r,t} \times Attra_PSS$. Et pour le marché traditionnel, le volume correspondra alors $VFP_{r,t}^{NPSS} = VFP_{r,t} \times (1 - Attra_PSS)$

- Eclatement de la demande selon le type de produits : Dans le cas du marché PSS, cet éclatement dépend d'autres variables qu'on définira plus loin (nous donnerons en même temps la formule de l'éclatement $Attra_TP_i^{PSS}$). Par ailleurs, dans le cas du marché

traditionnel, l'éclatement se fera par la variable discrète $Attr_a_{TP_i}^{NPSS} \in [0, 1]$. Par rapport au marché traditionnel la valeur de cette variable est un input direct (paramètre d'entrée) alors que dans le cas PSS cette variable est le résultat de combinaison d'autres variables. Cette variable nous permet de modéliser l'évolution temporelle de la demande pour un type de produit i , avec: $\sum_i Attr_a_{TP_i} = 1$.

Nous aurons ainsi l'évolution du volume de marché PSS et traditionnel pour chaque type de produit i pour chaque famille de produits r : $VTP_{i,t}^{PSS}$ et $VTP_{i,t}^{NPSS}$

Le Tableau 8 donne un récapitulatif des variables considérées lors de la modélisation du marché PSS et du marché NPSS

| Variables attachées à la description du marché PSS et non PSS | | |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| TP_i | Variable qualitative | Type de produit |
| FP_r | $FP_r = \{TP_i/i = 1 \dots n\}$ | Famille de produits |
| $(VFP_{r,t})$ | Variable réelle | Demande globale sur la famille r adressée à l'entreprise pour la période t |
| $Attr_a_{r,PSS}$ | Variable réelle [0,1] | Attractivité PSS pour une famille de produit r |
| $VFP_{r,t}^{PSS}$ | $VFP_{r,t} \times Attr_a_{PSS}$ | Demande périodique en PSS |
| $VFP_{r,t}^{NPSS}$ | $VFP_{r,t} \times (1 - Attr_a_{PSS})$ | Demande périodique en vente classique |
| $Attr_a_{TP_i}^{NPSS}$ | Variable réelle [0,1] ; $\sum_i Attr_a_{TP_i} = 1$ | Attractivité du produit « i » dans le cas NPSS |
| $VTP_{i,t}^{PSS}$ | $VFP_{r,t}^{PSS} \times Attr_a_{TP_i}$ | Demande périodique du produit « i » en PSS |
| $VTP_{i,t}^{NPSS}$ | $VFP_{r,t}^{NPSS} \times (1 - Attr_a_{TP_i})$ | Demande périodique du produit « i » en vente classique |

Tableau 8 Récapitulatif des variables de description du marché PSS et NPSS

4.2 Offre contrat PSS et Offre contrat Vente

4.2.1 Offre de contrat PSS

Nous considérons que l'entreprise E met sur le marché un ensemble d'offres de contrats PSS présentées à la clientèle. Nous considérons que chaque offre de contrat, notée OC_j est constituée par la spécification d'un type de produits TP_i , d'un bouquet de services associés (i.e. un ensemble fini et limité de prestations de services $\{S_k/k = 1, K\}$ déployées sur le cycle de vie du produit), d'un niveau de garantie de service (noté GS) traduisant un niveau global d'exigence du client pour une (ou plusieurs) durée(s) de contrat(s) ($Durée_{cont_p}$). Au final l'entreprise met

donc sur le marché une offre PSS (Tableau 9) regroupant un ensemble d'offres de contrats PSS, noté :

$$\mathbf{Offre_PSS}(E) = \{(\mathbf{OC})_j; j = 1, n\}$$

$$\text{avec } (\mathbf{OC})_j = (\mathbf{TP}_i, \{S_k / k = 1, p\}, \mathbf{GS}, \mathbf{Durée_cont}_p).$$

Le Tableau 9 donne un récapitulatif des variables considérées lors de la modélisation de l'offre PSS.

| Variables de description de l'offre PSS | | |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| $\{S_k / k = 1, p\}$ | Variable qualitative | Services spécifiques |
| \mathbf{GS} | Variable qualitative | Garantie de service |
| $\mathbf{Dur_cont}_p$ | Variable entière (année) | Durée de contrat |
| $(\mathbf{OC})_j$ | $(\mathbf{OC})_j = (\mathbf{TP}_i, \{S_k / k = 1, p\}, \mathbf{GS}_j, \mathbf{Dur_cont}_p)$ | Offre de contrat |

Tableau 9 Tableau récapitulatif des variables de description de l'offre PSS

4.2.2 Offre de contrat Vente

Nous considérons par ailleurs que l'entreprise E met aussi à disposition de ses clients du marché traditionnel un ensemble de services, néanmoins les services dans ce cas sont facturés différemment (pas de bouquets de services, mais chaque service proposé d'une manière atomique). Le client du marché classique peut ainsi, en plus de l'achat d'un produit, demander et contracter un ensemble de services atomiques $\{S_k / k = 1, K\}$.

4.3 Profil commercial des clients PSS

Un client, en exprimant sa demande, manifeste certaines préférences et certaines exigences. Nous caractérisons alors un client par différents variables commerciales notées \mathbf{Vcom}_u qui traduisent les différentes composantes du profil client face à l'offre de contrat. Dans les services, deux catégories de clients sont généralement considérées, les clients ayant une sensibilité vers la réduction du coût de service, et ceux qui ont une sensibilité vers la qualité de service (au sens large, c'est à dire le bouquet de services, garantie de service...) (Gans & Savin 2001). Cependant, d'autres variables comme celles considérées dans les travaux de (Komoto & Tomiyama 2008) pourraient être retenues (situation professionnelle, sensibilité à l'environnement...). La construction des profils commerciaux des clients dépend des variables caractéristiques sélectionnées par le modélisateur. Un profil commercial, noté \mathbf{Pcom}_q est spécifié par un ensemble de valeurs prises par des variables comportementales (attributs) commerciales notées \mathbf{Vcom}_u avec :

$$\mathbf{Pcom}_q = \{ \mathbf{Vcom}_u / u = 1, U \}, \quad \mathbf{q} = 1, Q \}$$

Chaque profil commercial induit des comportements différents face à l'offre commerciale de l'entreprise. Ainsi, et à titre d'exemple, des profils ayant une sensibilité vers le service seront plus

attentifs vis-à-vis des différentes prestations de service que les clients ayant une sensibilité envers le prix. Par ailleurs, la répartition de la totalité de la clientèle sur les différents profils commerciaux est représentée par une variable de pondération α_q comprise entre 0 et 1 et associée à chaque profil $Pcom_q$, tel que $\sum \alpha_q = \mathbf{1}$. Pour chaque profil commercial q , le volume des demandes par période (noté $VPcom_{q,t}$) correspond à

$$VPcom_q = VFP_{r,t}^{PSS} \times \alpha_q$$

4.4 Processus de décision commerciale PSS

Ce processus est destiné à modéliser le comportement commercial des clients optant pour le PSS face à l'offre globale de l'entreprise E ($Offre_PSS(E) = \{OC_j/j = \mathbf{1}, n, \}$). Nous modélisons ce comportement comme la sélection d'une offre de contrat spécifique au sein de l'offre PSS de l'entreprise E. Nous pouvons ainsi représenter cette inclinaison par la notion d'utilité. Un client aura alors des utilités différentes selon son profil commercial et l'offre de contrat proposée par l'entreprise. Ce processus de décision commerciale est représenté en associant à chaque profil commercial une loi aléatoire discrète représentant l'utilité de chaque profil commercial $Pcom_q$ envers une offre de contrat OC_j . Cette distribution sera notée $\mu_{q,j}$ (Tableau 10).

$$Pcom_q: \{OC_1, \dots, OC_j\} \text{ avec } OC_j \rightarrow \mu_{q,j}$$

| | OC_1 | ... | ... | OC_j |
|----------|-------------|-----|-----|-------------|
| $Pcom_1$ | $\mu_{1,1}$ | ... | ... | $\mu_{1,n}$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| $Pcom_q$ | $\mu_{q,1}$ | ... | ... | $\mu_{q,j}$ |

Tableau 10 Répartition des profils commerciaux sur l'offre de contrat

Pour chaque profil commercial q : $\sum_j \mu_{q,j} = \mathbf{1}$ avec j : indice de l'offre du contrat.

Le Tableau 11 donne un récapitulatif des variables considérées lors de la modélisation du profil commercial des clients PSS.

| Variables attachées aux profils commerciaux des clients PSS | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Vcom_u$ | Qualitative | Variable commerciale |
| $Pcom_q$ | $Pcom_q = \{Vcom_q/q = 1..Q\}$ | Profil commercial |
| α_q | Variable réelle [0,1] $\sum \alpha_q = 1$ | Répartition des clients sur les profils commerciaux |
| $VPcom_q$ | $VFP_{r,t}^{PSS} \times \alpha_q$ | Volume périodique issu du profil « q » |
| $\mu_{q,j}$ | Variable réelle [0,1] $\sum_j \mu_{q,j} = 1$ | Part des demandes de type profil commercial « q » positionnées sur l'offre de contrat « j » |

Tableau 11 Tableau récapitulatif des variables de description du profil commercial des clients PSS

5 Formalisation des comportements d'usage

Le sous-système des comportements d'usage est destiné à modéliser un ensemble de processus d'usage, c'est-à-dire des activités impliquant l'utilisateur du PSS et qui sont génératrices de signaux de sollicitations du système productif concerné. Ces processus d'usage recouvrent une certaine diversité : d'une part des processus liés à l'utilisation directe du produit, qui seront donc impactés par des caractéristiques techniques du produit et les caractéristiques de l'utilisateur ; et d'autre part des processus complémentaires liés aux prestations de services qui jalonnent le cycle de vie du produit (incluant par exemple le paiement contractualisé, la maintenance, les évolutions de contrats ou de produits, etc.). Pour modéliser ce sous-système, il est nécessaire d'identifier les processus d'usage concernés, ainsi que les caractéristiques des usagers (profils d'usage) puis celles du produit qui impactent les sollicitations du système productif. Grâce à ces différentes variables formalisant les comportements d'usage (Figure 48), nous serons en mesure d'étudier les fréquences des sollicitations du système productif.

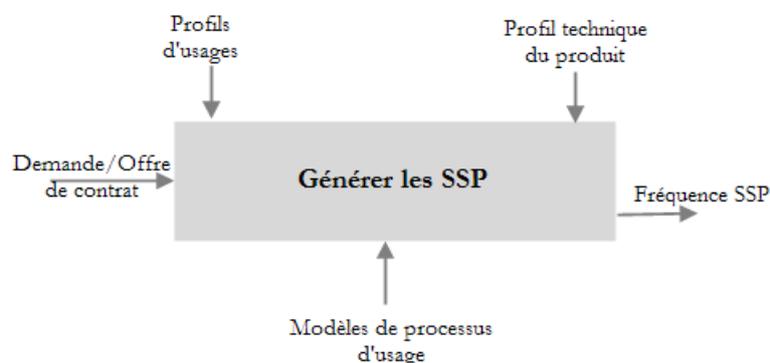


Figure 48 Modèle SADT du système des comportements d'usage

5.1 Processus d'usage

A partir des processus d'usage, nous souhaitons reconstruire les fréquences des sollicitations du système productif, ces fréquences caractérisent les différents services S_p . L'ensemble des processus d'usage, sera noté $\{PU_s/s = 1, S\}$. Chaque processus PU_s fait l'objet d'un modèle qui lui est propre, et qui traduit son fonctionnement. Nous utilisons actuellement des modèles spécifiques à chaque cas d'étude, en gardant néanmoins une vue conceptuelle de ces processus ; nous pouvons citer quelques-uns de ces processus à titre d'exemples :

- **Processus d'utilisation du produit** : Ce processus modélise l'utilisation effective du produit (et influence la courbe de panne).
- **Processus de paiement** : Ce processus modélise le processus de paiement, en prenant en compte notamment la périodicité de paiement

5.2 Profils d'Usage

Le comportement individuel de l'utilisateur est susceptible d'impacter un ou plusieurs processus PU_s . Nous nous intéressons exclusivement aux paramètres de comportement qui auront des impacts sur la fréquence des sollicitations du système productif. Ces comportements sont formalisés par la notion de profil d'usage du client. Un profil d'usage, noté $Pusa_v$ est spécifié par un ensemble de variables comportementales d'usage notées $Vusa_w$ avec $Pusa_v = \{Vusa_w/w = 1, W\}$

L'expression mathématique des variables d'usage peut-être adaptée selon les besoins ; au niveau du modèle conceptuel, nous ne présenterons pas ces variables. En revanche on peut citer quelques exemples de variables d'usage correspondant aux exemples de processus donnés précédemment : la fréquence d'utilisation du produit, la qualité de l'entretien, le risque de non-paiement d'un client

L'ensemble de ces variables d'usage permettent ainsi, par combinaisons, de définir des profils d'usage. La combinatoire peut être grande si le nombre de variables caractéristiques est important. D'où la nécessité de choisir d'une manière pertinente les variables caractéristiques affectant les différents processus d'usage que le modélisateur estime être importants à représenter. Par ailleurs, une réduction de ce nombre de profils pourrait être faite par des études de corrélations ou une pré-analyse des données relativement aux variables sélectionnées par un outil comme l'ACP afin de réduire le nombre de variables caractéristiques et de n'utiliser que celles qui affectent fortement les processus d'usage sélectionnés. La répartition de la totalité des usagers sur ces différents profils est représentée par une variable de pondération β_v comprise entre 0 et 1 et associée à chaque profil $Pusa_v$, tel que $\sum \beta_v = 1$. Cette variable est un input (un paramètre d'entrée) du modèle.

| Variables attachées aux comportements d'usage | | |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| $Vusa_w$ | Qualitative | Composantes des profils d'usage |
| $Pusa_v$ | $\{Vusa_w / w = 1, n\}$ | Profils d'usage des clients |
| β_v | Variable réelle [0,1] $\Sigma \beta_v = 1$ | Répartition des clients sur les profils d'usage |
| Variables attachées aux caractéristiques techniques des produits | | |
| $Vtec_y$ | Qualitative | Composantes du profil technique des produits |
| $Ptec_p$ | $\{Vtec_y / y = 1, n\}$ | Profils technique des produits |
| PTc_{P_i} | Qualitative | Profil technique du produit « i » |

Tableau 12 Tableau récapitulatif des variables de description du profil d'usage des clients PSS et du profil technique des produits

Le Tableau 12 donne un récapitulatif des variables considérées lors de la modélisation du profil commercial des clients PSS.

5.3 Caractéristiques du produit

Les données techniques du produit sont susceptibles d'impacter les processus liés à l'utilisation directe du produit avec, là-aussi, des conséquences en termes de sollicitations du système productif. Chaque famille de produit FP_r , est caractérisée par un ensemble de *variables techniques*, notées $\{Vtec_y / y = 1, Y\}$. Ces variables prendront des valeurs distinctes pour chaque type de produit TP_i .

L'instanciation de cet ensemble de variables pour un type de produit donné TP_i fournit le profil technique du produit, noté PTc_{P_i} .

Nous donnons, à titre indicatif, des exemples de variables techniques utiles pour la construction des profils -produits :

- *La durée de vie du produit*
- *Taux de réutilisabilité du produit*
- *Fiabilité du produit*: La fiabilité est ici définie comme un niveau de « robustesse » propre au produit uniquement. En revanche, le profil d'usage intervient sur la rapidité de croissance du risque de panne. Notons que des modèles de fiabilité prenant en compte l'usure (le temps), le stress des équipements et l'environnement dans lequel est utilisé l'équipement... sont disponibles dans la littérature relative au domaine d'ingénierie de la fiabilité (Lyonnet 2006).

6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la formalisation du système d'usage. Nous avons ainsi commencé par présenter un bref état de l'art sur la notion de l'usage, fondé sur la nécessité de prendre en compte le client et ses comportements ;

Nous avons ensuite donné les différents éléments nécessaires pour modéliser le système d'usage et leurs interactions à savoir d'une part la formalisation du comportement commercial par la spécification des profils des clients, de l'offre de l'entreprise, des processus et comportements décisionnels des clients... et d'autre part la formalisation du comportement d'usage des clients par la spécification des profils d'usage, des caractéristiques des produits et des processus d'usage...Le modèle conceptuel d'usage ainsi construit permet la reconstruction dynamique des différentes sollicitations de services en prenant en compte potentiellement une multitude de profils de clients et d'utilisateurs et une multitude d'offres de contrats. Ces fréquences des sollicitations seront les inputs (données d'entrée) du système productif. Le chapitre suivant abordera la formalisation de ce sous-système.

Chapitre 6

Spécification du modèle conceptuel du système productif

1 Introduction

Sous l'impulsion des évolutions technologiques, culturelles et sociales, l'offre de l'entreprise n'a cessé d'évoluer et, avec elle, le système productif. Le client est ainsi devenu à la fois une source de revenus mais aussi de contraintes et d'exigences pour l'entreprise. En parallèle, par la connaissance et les informations que lui offrent les nouvelles technologies de l'information, le client est devenu de plus en plus volatile. Face à cette évolution profonde de l'offre de l'entreprise, de la relation client-fournisseur, une évolution du système productif est nécessaire. Nous considérons dans ce travail que la transition d'une entreprise manufacturière classique en entreprise développant une offre PSS requiert deux transformations majeures du système productif:

- Dans le cas d'une offre PSS, l'entreprise ne se limite pas à fabriquer un produit mais doit aussi produire des services, voire même en considérant le produit lui-même comme un service (cas de la vente d'usage). Ceci implique directement les métiers et processus de l'entreprise. L'entreprise doit développer de nouvelles activités orientées vers la prestation de services, pour répondre aux besoins qui accompagnent le produit tout au long de son usage.
- Au-delà des activités de productions et de services, une autre activité tout autant importante dans une offre PSS est la revalorisation des produits après usage (fin de contrat PSS). Il s'agit d'une conséquence directe de la non-cession de propriété du fournisseur vers le client. Comme le montrent les travaux de (Jacobsson 2000), il existe une relation directe et complémentaire entre le remanufacturing (qui est une stratégie parmi d'autres de valorisation des produits) et la vente de service, même si celui-ci n'est pas forcément garant d'une meilleure performance environnementale comme le précise (Sundin 2004). En effet, le remanufacturing peut ne pas être environnementalement bénéfique pour les produits qui ne sont pas matures et/ou qui ont un taux de développement de technologie important (renouvellement technologique important).

Nous considérons, dans nos travaux de thèse, les PME ayant, à la base, une activité manufacturière de vente de produits, et qui voudraient changer vers un modèle économique de type PSS. Par hypothèse, les entreprises sont considérées comme prêtes à internaliser les transformations de métiers nécessaires aux offres PSS plutôt que les externaliser. L'entreprise de production doit donc développer de nouvelles capacités de production, couvrant à la fois de nouvelles caractéristiques structurelles du système (notamment de nouveaux processus de

production) ainsi que de nouvelles approches en gestion des capacités. En ce qui concerne les changements structurels, de nouvelles activités de production sont nécessaires pour couvrir l'ensemble des besoins du client tout au long du cycle de vie du produit, besoins liés notamment à la gestion des contrats de service avec les clients. Ces nouvelles activités de services intègrent la conception de l'offre PSS, la production et la livraison, mais aussi la gestion de fin de contrat. Ces problématiques peuvent être incluses dans ce qu'ont appelé (Roth & Menor 2003) le Système de réalisation/exécution de service et son évaluation. Dans ce chapitre, nous proposons et développons le modèle conceptuel du système productif. Nous allons ainsi discuter des différents sous-systèmes : Le sous-système de fabrication, de revalorisation et de servuction.

2 Le modèle conceptuel du système de fabrication

2.1 Introduction

La modélisation d'entreprise est définie comme « la construction de modèles d'une partie déterminée d'une entreprise pour en expliquer la structure et le fonctionnement ou pour en analyser le comportement » (Vernadat 1999). Dans cette partie nous allons nous consacrer à la partie « fabrication » de l'entreprise. Le modèle conceptuel servira ainsi de support formalisé d'aide à la compréhension et/ou à la décision. Il servira ainsi à « décrire l'organisation et les processus opérationnels d'une entreprise, soit dans le but de simuler ces processus pour comparer divers scénarios, soit dans le but de les analyser et de les restructurer pour améliorer les performances de l'entreprise » (Vernadat 1999).

Dans les différents modèles conceptuels que nous allons développer, nous adopterons l'approche processus. (Saadoun 2000) définit un processus comme « un ensemble d'activités organisées en réseau de manière séquentielle ou parallèle, combinant et mettant en œuvre de multiples ressources, des capacités et des compétences pour produire un résultat ayant de la valeur pour un client externe ». Cette définition met en exergue le caractère organisationnel dans un processus, et permet d'intégrer les ressources humaines en se référant à la gestion des compétences.

2.2 Éléments d'un processus de fabrication

Dans la modélisation d'une entreprise et en adoptant l'approche systémique, (Le Moigne 1994) décompose l'entreprise en trois sous-systèmes interdépendants et interagissant :

- Le sous-système physique, appelé aussi le sous-système opérant : ce sous-système représente les différents flux physiques de l'entreprise. Il représente aussi le comportement dynamique et concret de l'entreprise.
- Le sous-système d'information : ce sous-système représente les flux d'informations auxquels l'entreprise est exposée. Ainsi ce sous-système permet l'acquisition, le traitement et la gestion des données disponibles en entreprise et dans son environnement.
- Le sous-système de décision : ce sous-système représente l'ensemble des décisions prises en prenant en considération les flux d'informations afin de piloter et gérer le sous-système physique. L'objectif principal du système de pilotage est la bonne exécution du programme de production par le système physique (Nagi 1991).

Cette décomposition en trois sous-systèmes peut être ramenée à une décomposition en deux sous-systèmes. En effet, le sous-système d'information et le sous-système de décision sont, dans la réalité, très dépendants et liés. Les deux correspondent à ce qu'on appelle le sous-système de pilotage, le sous-système directeur (Rodde 1991), ou encore le sous-système (ou partie) commande (Breuil 1984).

En référence à la systémique (Le Moigne 1990), et dans une perspective de simulation des systèmes productifs, (Habchi 2001) propose une décomposition des systèmes de production manufacturiers en deux sous-systèmes : le système de fabrication et le système de pilotage (Figure 49).

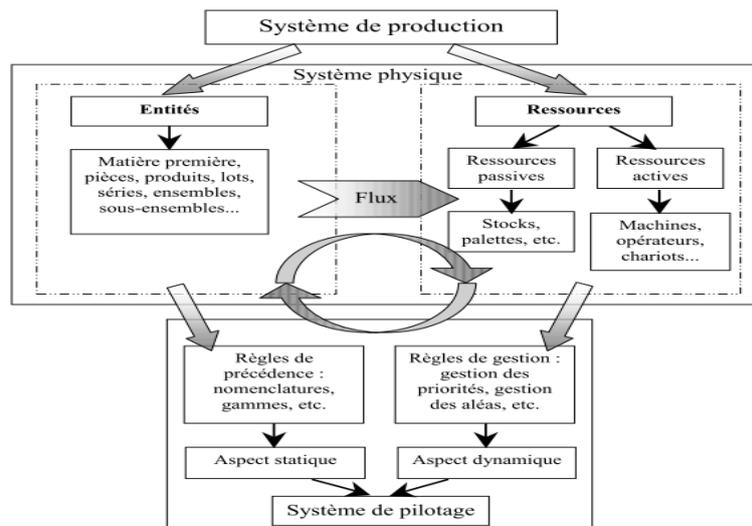


Figure 49 Composition d'un système de production (Habchi 2001)

Le système physique est composé de deux types d'objets :

Les ressources correspondent aux moyens et outils de production. Les ressources peuvent être « actives » si elles contribuent à transformer l'état de l'entité telle que les machines, les opérateurs... et les ressources « passives » qui n'ont aucun effet sur les entités telles que les stocks. Par ailleurs, les opérations que les ressources sont susceptibles d'effectuer sont : la transformation (usinage, assemblage, désassemblage...), le transfert, le contrôle et le stockage.

Les entités, quant à elles, correspondent aux différents flux physiques utilisés dans le système productif : matières premières, composants, produits finis ou semi finis, les lots de produits...

Le système de pilotage est composé d'objets qui ont pour vocation la conduite du système. Ils permettent ainsi de définir des règles à exécuter et à suivre au niveau du système physique. Ces règles et décisions peuvent être de deux natures:

- Règles régissant l'aspect statique du système physique : généralement portées par les entités, elles définissent par exemple les gammes de production ou la nomenclature.
- Règles régissant l'aspect dynamique du système : elles permettent une gestion dynamique du flux, et sont affectées aux ressources pour mieux gérer les flux, les incertitudes et aléas liés à l'état des entités. L'ordonnancement et l'affectation des ressources sont des exemples de ces règles.

2.3 Modèle conceptuel proposé

Le modèle conceptuel du système de fabrication comporte un système physique constitué de M processus de production notés $PP_m / m = 1 \dots M$ et M' niveaux de stockage $SP_{m'} / m' = 1 \dots M'$ et d'un système de pilotage qui, en fonction de l'état du système (stocks, processus), et des règles de gestion, génère des décisions (Figure 50).

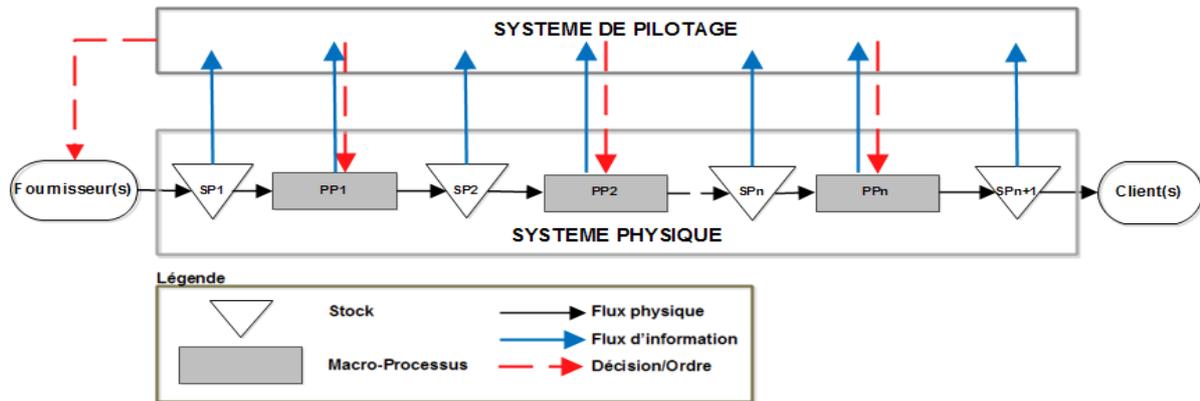


Figure 50 Modèle conceptuel du système de fabrication proposé

Le flux physique correspond au flux de produits (un ou plusieurs flux de produits). Le flux d'informations correspond aux informations liées aux différents processus de production. Ces informations sont transmises au système de pilotage pour générer un ensemble de décisions sur le système physique en appliquant des règles de gestion (niveaux de rechargement des stocks, règles d'affectation des ressources...).

Pour la modélisation du marché, des produits et de l'offre de contrat, nous utiliserons les mêmes notations que dans le système d'usage, en effet le système d'usage correspond à ce que propose l'entreprise (et donc le système productif de celle-ci) au marché et à ses clients. Nous utiliserons donc les notations suivantes :

- Le volume total pour la famille de produit FP_r noté $VFP_{r,t}$
- Le volume total pour un type de produit TP_i noté $VP_{i,t}$
- Le volume total pour le marché PSS noté $VFP_{r,t}^{PSS}$
- La nomenclature du produit qui correspond à «une codification exhaustive et non ambiguë de tous les composants» (Giard 2003).
- Les gammes de fabrication et d'assemblage qui fournissent «les temps opératoires nécessaires à la réalisation de chaque référence, sur chaque centre de production concerné» (Giard 2003).

La Figure 51 résume les différents objets liés à la fabrication d'un produit. Le produit (constitué d'un ensemble de composants) est réalisé au travers d'un ensemble d'opérations. Celles-ci sont effectuées par des ressources (humaines ou matérielles) à travers des processus. Le produit est réalisé par un fournisseur pour satisfaire le besoin d'un client (interne ou externe à l'entreprise).

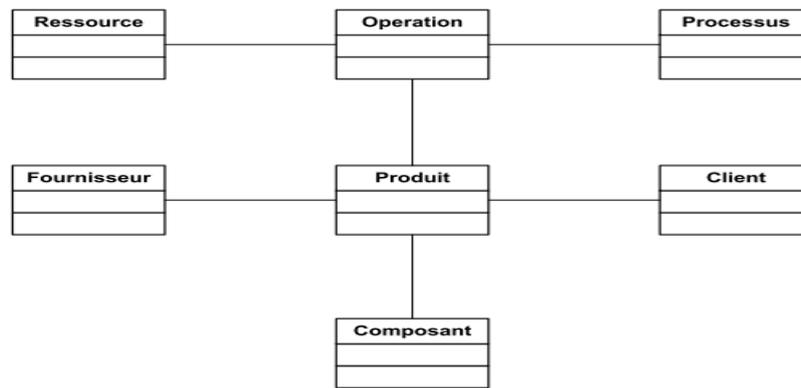


Figure 51 Schéma conceptuel caractérisant la réalisation d'un produit

3 Le modèle conceptuel du système de revalorisation

3.1 Introduction

La revalorisation des produits usagés est étroitement liée au concept PSS, le produit PSS étant souvent conçu comme objet recyclable et l'objet lui-même restant propriété de l'entreprise une fois l'usage consommé. Cette revalorisation peut prendre plusieurs formes. (Touzanne 2002) définit la valorisation comme « un traitement destiné à redonner une valeur à un sous-ensemble ou à un constituant d'un produit par réemploi, récupération du potentiel énergétique ou par récupération des matériaux ». Les différentes formes les plus utilisées sont (Thierry 1997) (Krikke et al. 1998):

- Réparation : Ce processus permet de ramener un produit usagé (lorsqu'il n'est plus fonctionnel) à son état de marche normale. Les produits réparés ont une qualité inférieure à celle des produits neufs.
- Remise à neuf : Ce processus permet de ramener un produit usagé à un état de marche avec une qualité prédéfinie (plus faible que celle d'un produit neuf).
- (Re)production (Remanufacturing): (Haynesworth & Lyons 1987) définissent le remanufacturing comme étant « le processus consistant à ramener un produit usagé à l'état neuf, à travers le remplacement et la reconstruction de ses composants ». Les produits remanufacturés ont une qualité égale ou inférieure à celle des produits neufs.
- Cannibalisation : Ce processus permet de récupérer des pièces ou modules du produit usagé. Ce processus s'intéresse donc à la récupération d'un ensemble de pièces et modules prédéfinis et présélectionnés.
- Recyclage : Ce processus n'a pas pour vocation de se concentrer sur la fonctionnalité du produit usagé ou de ses composants mais de s'intéresser à la matière première constituante du produit et ses composants. La matière peut être réutilisée pour d'autres alternatives.

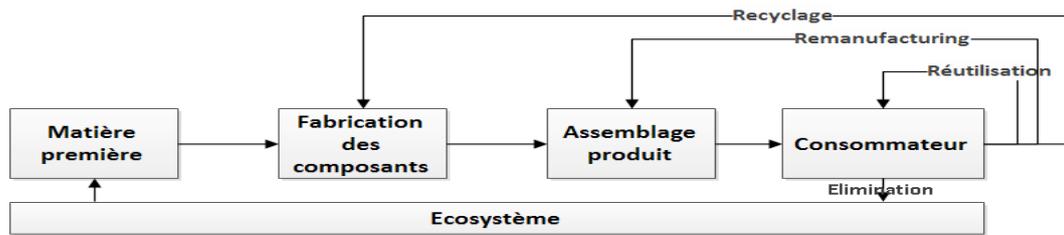


Figure 52 Flux des matériaux pour la valorisation des produits usagés (Lund 1996)

A partir d'un désassemblage partiel ou complet, un produit usagé est soit remis à neuf, soit partiellement ou entièrement réutilisé au travers de ses composants (Tableau 13). Le désassemblage peut être défini comme une approche globale de séparation d'un produit en ses parties constituantes, les composants et sous-ensembles (Östlin et al. 2009). Le désassemblage peut être partiel (le produit n'est pas entièrement démonté) ou complet (le produit est entièrement démonté). Parmi les pièces démontées, celles qui sont encore utilisables seront nettoyées, remises à neuf, et mises en stock. Ensuite, un nouveau produit peut être assemblé, le cas échéant, avec des unités neuves et usagées, pour produire une unité équivalente et parfois supérieure au produit d'origine en termes de performance et de durée de vie prévue (Östlin et al. 2009).

| Option de récupération | Degré de désassemblage | Qualité exigée | Produit résultant |
|------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Réparation | Au niveau du produit | Remettre le produit en état de marche | Pièces réparées ou remplacées |
| Remise à neuf | Au niveau des modules | Inspecter et remettre à jour des modules | Modules réparés ou remplacés |
| Re-production | Au niveau des pièces | Inspecter et remettre à jour pièces et modules | Des pièces et modules usés et neufs au sein du produit neuf |
| Cannibisation | Récupération sélective de pièces | Dépend de l'utilisation des options de récupération | Des pièces réutilisées, d'autres mises au rebut ou recyclées |
| Recyclage | Au niveau matière | Dépend de l'utilisation dans la re-production | Matière des produits neufs Energie |

Tableau 13 Options de récupération des produits (Krikke 1998)

3.2 Éléments d'un processus de revalorisation

Les différentes stratégies et options de valorisation sont basées sur des activités génériques de tri, d'inspection des composants et modules, de désassemblage (démontage) et de (re)assemblage. Plusieurs techniques de désassemblage sont répertoriées dans la littérature (manuel, semi-automatique, partiel, complet...) (Chevron 1999). (El Korchi 2010) précise que le démontage manuel est le plus utilisé dans les sites industriels spécialisés dans la récupération et le traitement des produits usagés de type blanc (machine à laver, lave-linge...) ou brun (four, cuisinière, ordinateur). Ce mode est privilégié parce qu'il n'est pas destructeur et garantit une certaine fonctionnalité résiduelle du composant extrait du désassemblage. Par ailleurs, chaque composant ou sous-ensemble extrait du désassemblage doit être inspecté et sa qualité vérifiée. En fonction de la qualité du composant et sous ensemble, il sera réutilisé et revalorisé (ou pas) par l'un des modes de revalorisation vus précédemment.

La re-production ou le remanufacturing est le processus le plus documenté dans la littérature. Celui-ci est défini comme un processus industriel dans lequel les produits usagés sont restaurés et remis à l'état neuf (Östlin et al. 2009). Il est souvent organisé comme un processus industriel afin de bénéficier des avantages d'une production en série, d'une qualité constante et d'un processus de production rationnel (Steinhilper 1998). Pour (Sundin 2004) (Lopez-Ontiveros 2004), ce processus est composé généralement des sept étapes représentées sur la Figure 53. La succession de ces étapes dépend fortement de la nature du produit à remanufacturer (Sundin 2004).

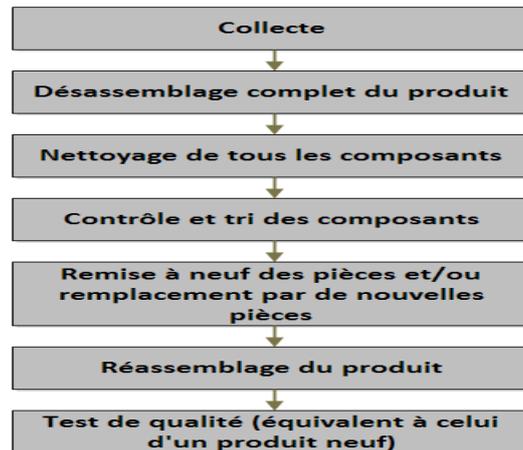


Figure 53 Etapes du processus de remanufacturing (Sundin 2004)

En comparaison à la fabrication, le remanufacturing possède des caractéristiques générales qui compliquent les différentes décisions de gestion. La question du volume collecté, de la qualité des produits usagés, de sa variabilité rends difficile la gestion des matières (El Korchi 2010).

Une offre PSS apporte une réponse, même partielle, à ces éléments problématiques. Le non transfert de propriété et la relation entretenue avec le client par le biais des services permettent un certain degré de maîtrise (à travers notamment des clauses d'utilisation dans le contrat), de la qualité et des volumes des retours. Le client utilise le produit pour une certaine durée de contrat (avec possibilité de renouvellement), après cette durée, l'entreprise peut récupérer le produit et, le cas échéant, le remanufacturer.

3.3 Modèle conceptuel proposé

Le modèle conceptuel du système de revalorisation comporte un système physique constitué de K processus de revalorisation notés $PR_k/k = 1 \dots K$, des niveaux de stockages et d'un système de pilotage qui, en fonction de l'état du système (stocks, processus) et des règles de gestion, génère des décisions de pilotage.

Notons que nous reprenons le même schéma de revalorisation proposé (Steinhilper 1998), en intégrant la dernière étape du processus dans le système de fabrication. En d'autres termes, nous ne considérons dans le modèle de revalorisation que les étapes de désassemblage, de nettoyage, du tri et de reconditionnement. La Figure 54 illustre ce modèle.

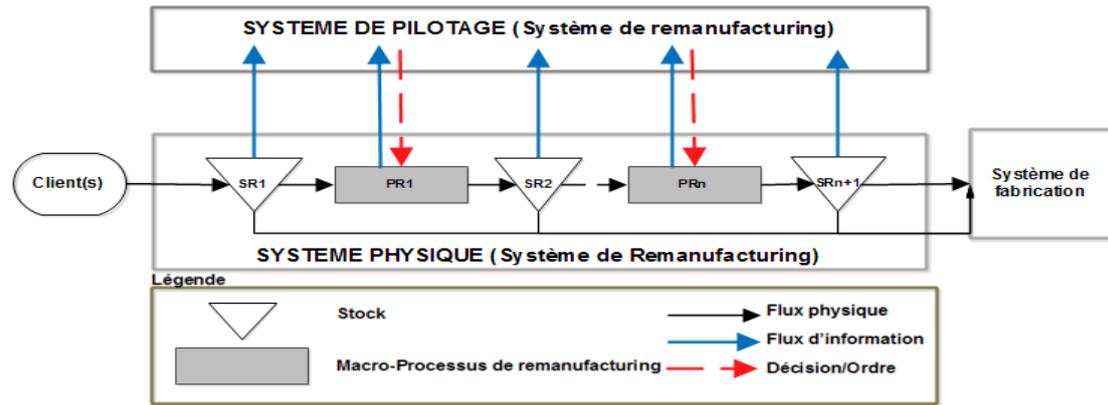


Figure 54 Modèle conceptuel du système de remanufacturing

A partir d'un produit récupéré, plusieurs options s'offrent à l'entreprise, récupération totale du produit (réutilisation directe), récupération de module ou récupération de composants. Pour pouvoir mieux représenter ces différentes stratégies, nous aurons besoin de définir :

- La *Durée de vie pour un type de produit i* $Durée_vie_TP_i$, elle correspond à la durée durant laquelle nous pouvons « encore » utiliser le produit, un composant ou un module (durée exprimée en nombre de périodes d'utilisation).
- *Taux de réutilisabilité pour un type de produit i* : Pour chaque type de produit i , on définit un taux de réutilisabilité qui dépend de l'historique du produit en usage, lié au profil d'usage des clients qui l'ont utilisé au cours du temps $Taux_réu_TP_i = f(Pusa_k, TP_i, t)$
- La nomenclature de remanufacturing (désassemblage) du produit récupéré
- La gamme de désassemblage

Une particularité du système que nous considérons, c'est qu'à la fin de la phase de désassemblage, un contrôle du produit (module ou composants) déterminera les proportions (**Taux de réutilisation**) de ces produits (module ou composants) qui peuvent être considérés comme « de bonne qualité » et viendront alimenter les stocks du système de fabrication (SR_m'). Les autres éléments, ceux qui ne peuvent pas être directement mis en stock, doivent poursuivre le processus de désassemblage

4 Le modèle conceptuel du système de servuction

4.1 Introduction

« Le processus de production d'un service s'effectue au travers d'une succession d'opérations consommant des ressources en équipements (bâtiments, machines, ordinateurs...), en hommes, en matières (énergie...), en informations techniques ou procédurales (gammes, nomenclatures, consignes, procédures, etc.) ou en informations relatives à l'état et à l'utilisation du système productif » (Giard 2005). Cette définition, prise d'une manière globale, n'est pas différente dans le cas de la production de biens classiques.

La différence fondamentale est dans le concept de gamme attachée aux opérations de services (Giard 2005). Dans ce cas, les gammes ne sont pas formalisées en raison de la difficulté à

standardiser la prestation de services (d'une part, pour la subjectivité de la notion de la qualité de service et, d'autre part, à cause de l'implication forte du client dans la réalisation du service et donc de la difficulté à standardiser « aussi » cette implication).

La production de service est, de ce fait, « une série d'activités qui normalement donne lieu à une interaction entre le client et les structures, les ressources humaines, les biens et les systèmes qui sont fournis en réponse aux besoins du client.» (Grönroos 1999). Dans la littérature, cette production de services est appelée servuction, ce terme étant un néologisme formé à travers la notion de service et la notion de production. Celle-ci est définie comme étant « l'organisation systématique et cohérente de tous les éléments physiques et humains de l'interface client-entreprise nécessaires à la réalisation d'une prestation de service dont les caractéristiques commerciales et les niveaux de qualité ont été déterminés » (Eiglier & Langeard 1987).

La ressemblance entre le processus de production de biens et celui de production du service n'est pas toujours évidente et même parfois contestée par la communauté du marketing. Néanmoins nous rejoignons l'analyse de (Giard 2005) qui suggère et montre que la vue gestion de la production et génie industriel peut et apportera une amélioration de la performance (au sens efficacité et efficience) des systèmes de production de services.

4.2 Éléments d'un processus de servuction

Comme nous l'avons présenté dans l'état de l'art, le processus de réalisation de services se décompose en deux activités : les activités de back office et les activités du front office. La différence fondamentale entre les deux activités est le degré de participation de clients ; en effet, cette décomposition permet de faire la distinction entre les activités visibles et accessibles pour les clients (Front-Office) et celles qui ne le sont pas (Back-Office).

Par ailleurs, et comme le montre la Figure 55, la production d'un service nécessite l'interaction entre diverses entités qui sont : le client, le support physique et le personnel de contact. Les entités interagissent avec le back office de l'entreprise (son organisation interne) (Eiglier & Langeard 1987).

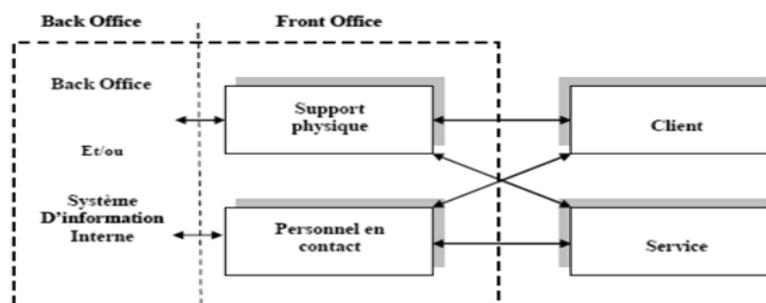


Figure 55 Le système de servuction (Eiglier & Langeard 1987)

- Le client : le client est primordial dans un système de production de services ; il est la source du besoin en service. Si la sollicitation du client n'existe pas, on ne peut pas alors parler de service. Comme l'illustre très bien (Eiglier & Langeard 1987) dans un exemple

de service de transport « ...si le train ou l'autobus partent avec des sièges disponibles, il n'y a pas de service, il y a simplement des capacités disponibles, des potentialités de service... » (Eiglier & Langeard 1987) ;

- Le support physique : cela correspond à « l'ensemble des éléments matériels nécessaires à la réalisation du service ». Il comprend les « instruments nécessaires à la production du service » (machines mises à la disposition du personnel en contact et/ou du client pour la réalisation du service) (Bitner 1990) ;
- Le personnel de contact : il s'agit du personnel qui assure la relation directe avec le client afin de réaliser la prestation de service.
- Le service : c'est le résultat de l'interaction entre le client, le support physique et le personnel en contact.
- Le système interne d'organisation : il s'agit de la partie invisible et inaccessible pour le client (Back Office). Cette partie regroupe l' « ensemble des fonctions classiques de l'entreprise : finance, marketing, gestion du personnel, etc., mais aussi certaines fonctions spécifiques qui sont nécessaires à la réalisation du service.. » (Eiglier & Langeard 1987).

(Bullinger et al. 2003) estiment que le service peut être caractérisé par trois dimensions: une dimension de structure (la structure détermine la capacité et la volonté d'offrir le service en question), une dimension de processus et une dimension de résultat. Les auteurs montrent l'intégration et l'interaction d'un modèle de produit, d'un modèle de processus et un ensemble de ressources (Figure 56). Le modèle proposé par les auteurs permet ainsi de visualiser les différents objets liés à la réalisation de la prestation de service.

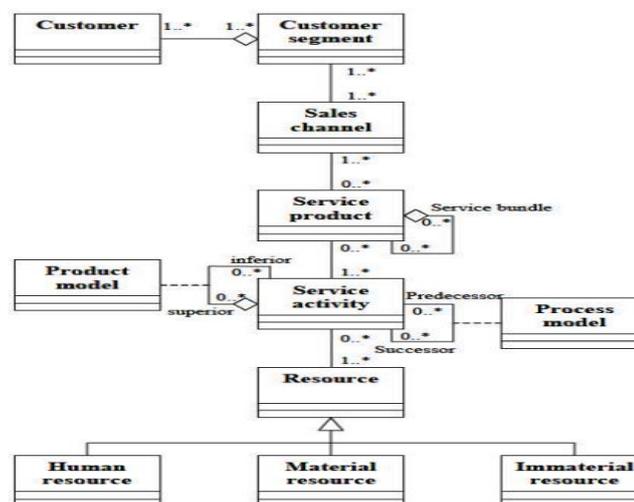


Figure 56 Modèle de réalisation d'un service (Bullinger et al. 2003)

4.3 Modèle conceptuel proposé

Pour configurer un système de production de services, une première difficulté consiste à identifier des offres de services qui pourraient être compatibles avec la stratégie de l'entreprise. Les opportunités de services dans le cadre du PSS sont distribuées le long du cycle de vie. (Baglin & Malleret 2004) proposent une liste de «services industriels» (Tableau 14).

| 1. Amélioration de l'offre de produits | |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Equipement | Réduction des délais de livraison Livraison en une fois Livraison sans rendez vous Livraison directe à l'utilisateur final Mise à disposition de contenant (palette, barils, fûts, ...) Prêt de matériel avant achat/échantillons |
| Utilisateur | Réduction des délais de réponse (devis) Personnalisation du produit Conseil d'achat |
| 2. Services complémentaire | |
| Equipement | Installation d'équipement Maintenance Dépannage, assistance Prêt de matériel de remplacement Gestion et mise à disposition des pièces de rechange Vente de fournitures et consommables Mise à jour/ mise à niveau des matériels et logiciels |
| Utilisateur | Formation Conseil d'utilisation Documentation technique Gestion des stocks (et des besoins) pour le compte de client Maîtrise d'ouvrage d'un système complet Aide à la conception des produits |
| Financement | Location de matériels Financement de l'achat Rachat d'anciens équipements |

Tableau 14 Liste de services utilisés dans la recherche (Baglin & Malleret 2004)

Dans le cas des PSS orientés usage, la prestation de services porte sur un bien appartenant à l'entreprise et situé chez le client. La transformation de ce bien est de nature matérielle (réparation du bien, changement du produit, livraison installation et mise en marche du produit). Les différents processus de service mettent en œuvre principalement des ressources humaines, avec des ressources matérielles comme support au service.

D'une manière générale, les ressources intervenant dans ce processus sont supposées être humaines. Nous les présenterons donc par un système physique et un système de pilotage.

Le modèle conceptuel du système de servuction que nous proposons comporte un système physique constitué d'un ensemble de processus de services (service maintenance, service livraison, service récupération ...) et d'un système de pilotage qui, en fonction de l'état du système (satisfaction des clients, disponibilité ressource, retard de service, demande de service ...), et des règles de gestion, génère des décisions. La Figure 57 illustre ce modèle. Nous aurons besoin dans le système de servuction de définir les variables suivantes :

- Le temps opératoire pour la réalisation de chaque service
- Les compétences nécessaires pour réaliser chaque service

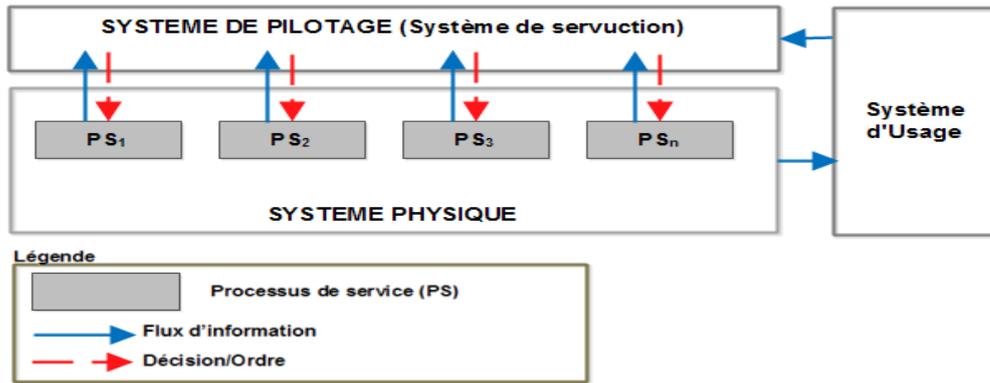


Figure 57 Modèle conceptuel du système de servuction proposé

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le modèle conceptuel global de l'entreprise dans le cas d'une offre PSS. Nous avons pris en considération les particularités du PSS. Ainsi nous avons considéré trois sous-systèmes : un système de fabrication classique qui a pour but de produire les produits destinés au PSS, un système de servuction qui assure la composante service du PSS, et un système de revalorisation qui permet d'assurer une réutilisation efficace des produits en fin de contrat (d'usage). Ces différents sous-systèmes sont gérés d'une manière globale pour assurer une utilisation optimale des ressources disponibles.

Partie 3 : Application de la démarche de modélisation et de simulation sur une étude de cas

Chapitre 7

Présentation de l'étude de cas et instanciation du modèle

1 Introduction

Au travers des chapitres précédents, nous avons construit et présenté la démarche de modélisation et de simulation qui vise à aider à la prise de décision dans le contexte d'une transition vers une offre PSS. Nous avons proposé une approche de modélisation et d'évaluation des systèmes de production orientés PSS basée sur le couplage entre deux sous-systèmes interdépendants : le système d'usage et le système productif. Les modèles conceptuels relatifs à chaque sous-système ont fait l'objet des chapitres précédents. A présent nous allons appliquer la démarche de modélisation et de simulation sur une étude de cas.

Le cas ENVIE, développé dans ce chapitre, présente une instanciation, sur un contexte industriel spécifique, du modèle conceptuel générique décrit dans les chapitres précédents. Nous allons commencer par décrire l'entreprise ENVIE, ensuite nous présenterons l'instanciation des différents processus du système d'usage et du système productif.

2 Description du cas ENVIE

2.1 L'entreprise ENVIE

ENVIE Loire est une PME régionale d'une vingtaine de personnes, dont le cœur de métier est le remanufacturing des Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques (DEEE). Ses activités couvrent principalement

- des activités logistiques de collecte des déchets,
- des activités de productions mécaniques par remanufacturing des produits DEEE,
- des activités de ventes des produits remanufacturés, et
- des activités logistiques pour l'élimination des déchets non recyclables en interne.

L'entreprise est donc centrée sur des compétences en logistique et en production industrielle par remanufacturing.

La première filiale ENVIE d'Electroménager Rénové Garanti (ERG) a été créée en 1984 à Strasbourg, en collaboration avec des enseignes de la distribution et des travailleurs sociaux. ENVIE est alors présente sur l'intégralité de la filière des déchets d'équipements électriques et électroniques(DEEE). ENVIE 2E (Emploi et Environnement) Loire est sa troisième filiale qui a

été créée, en 1994, dans le secteur de collecte et du recyclage des DEEE. En 1997, le nombre d'entreprises ENVIE a atteint 26, pour 400 postes en insertion à temps plein (ETP). Quatre ans plus tard (2001), ENVIE devient membre du réseau européen Recycling and Reuse European Union Social Entreprises (RREUSE). En 2005, le nombre d'entreprises ENVIE a atteint 39, pour 630 postes à temps plein.

Une récente directive européenne des DEEE stipule que la collecte et le recyclage ou la rénovation de tout appareil en déchet qui possède une prise électrique ou même une pile ou un accumulateur, sont devenus obligatoires. Dans ce contexte favorable, ENVIE a étendu son réseau à travers la France ; réseau qui s'est alors structuré en :

- 48 entreprises dans les plus grandes villes françaises,
- 29 ateliers de réparation de DEEE,
- 50 magasins de vente de DEEE.

ENVIE est une entreprise actrice du développement durable. A ce titre, elle crée et développe ses activités en s'efforçant de répondre au mieux à 3 enjeux majeurs :

1. **Economique** : ENVIE est le leader de la vente d'électroménager rénové garanti. Elle est un opérateur agréé de la collecte et du traitement des DEEE.
2. **Social** : L'action d'ENVIE s'inscrit dans une mission de service public, en participant à l'accompagnement de personnes en difficultés sociales et professionnelles vers un emploi durable (réinsertion professionnelle). ENVIE emploie ces personnes et leur propose un parcours de requalification adapté. De façon simultanée, elle permet à toute personne dont le niveau de vie est moyen, de s'équiper en appareils électroménagers rénovés, de grandes marques, garantis un an, et vendus à prix réduits dans les magasins d'ENVIE.
3. **Environnemental** : Contribuer à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources par la collecte et la valorisation des DEEE.

Dans chaque département de France, ENVIE a une organisation indépendante. Sur le département de la Loire, on trouve 4 sites (Tableau 15), avec, pour chacun, des activités qui lui correspondent et une organisation qui lui est propre.

| Sites | Activités |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|
| ENVIE 2E Loire | Collecte et tri. Retraitement des écrans. |
| Magasin Saint-Etienne | Remanufacturing (reconditionnement) et activités de vente |
| ENVIE 2E Mably | Collecte et tri |
| Magasin Roanne | Vente. |

Tableau 15 Différents sites d'ENVIE LOIRE

Dans le cadre de notre étude de cas, nous nous intéressons à l'entreprise ENVIE 2E Loire ainsi qu'au Magasin Saint-Etienne. Chaque site assure des activités propres :

– Au niveau d'ENVIE 2E:

1. **Collecte** : La collecte des DEEE est déclenchée par une demande d'Ecosystème (qui est l'intermédiaire entre les déchetteries et ENVIE). ENVIE doit répondre à cette requête en moins de 48h. ENVIE possède 200 partenaires et points de collecte (déchetteries),
2. **Tri par type de produit** : Un tri est effectué pour séparer les différentes familles de produits (gros électroménagers, petits électroménagers et écrans),
3. **Diagnostic fonctionnel et tri** : Chaque produit est diagnostiqué pour savoir s'il est réparable ou non,
4. **Retraitement des écrans** : Pour les écrans, ENVIE assure un processus de désassemblage qui joue un rôle intermédiaire entre les déchetteries et les entreprises de retraitement (processus transféré sur un site ENVIE Rhône-Alpes en 2013).

– Au niveau d'ENVIE magasin Saint Etienne :

1. **Remanufacturing** : Ce processus se compose en quatre (4) activités principales : le diagnostic, la réparation, le lavage et les essais techniques des machines après réparation,
2. **Vente** : Commercialisation des produits et gestion de la relation clientèle.

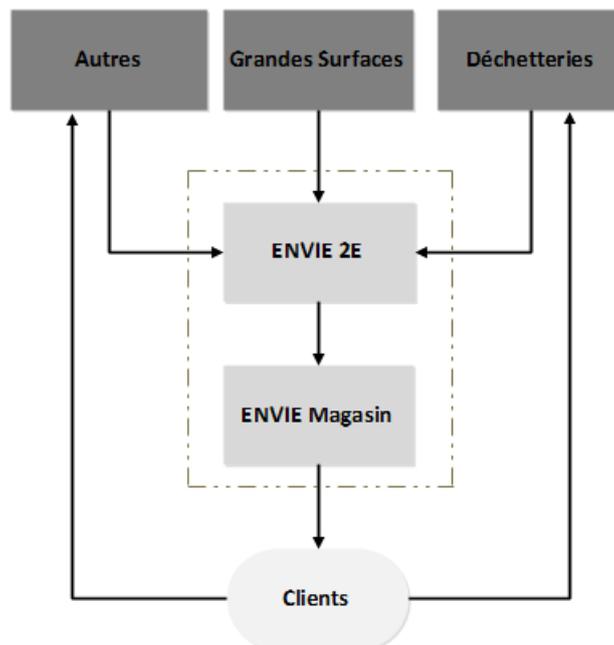


Figure 58 Flux de produits dans le cas de la vente

L'entreprise ENVIE propose une gamme de produits rénovés garantis durant 1 an. Ses clients sont souvent des foyers au niveau de vie modeste ou moyen, parfois très mobiles géographiquement : ne souhaitant pas s'équiper avec du matériel neuf, ils font donc appel à des appareils moins chers avec une garantie.

Le Tableau 16 récapitule la gamme des produits d'ENVIE 2E Loire. Les produits sont répartis en familles de produits qui se différencient par la fonction des produits.

| Macro Famille de produits | Famille de Produits |
|---------------------------|----------------------------------------------------------|
| Froid | Réfrigérateur, Réfrigérateur / Congélateur, Congélateur. |
| Lavage | Lave-Linge, Sèche-linge, Lave-vaisselle. |
| Cuisson | Four, Cuisinière, Table de cuisson, Micro-ondes, Hotte. |

Tableau 16 Macro familles et familles de produits d'ENVIE

2.2 Une volonté de changement

L'entreprise ENVIE possède actuellement une large offre de produits. Ses produits sont essentiellement issus du remanufacturing. Des services additionnels payants sont également proposés lors de la vente d'un produit : livraison à domicile et maintenance curative (réparation) en cas de panne.

Le concept PSS, où la vente d'une fonction remplace la vente du produit, a séduit les dirigeants pour plusieurs raisons.

Etant une entreprise dont le métier repose sur le remanufacturing, l'élément déclencheur de son activité est la collecte des DEEE. Comme le montre la Figure 59, le passage vers une offre PSS lui permettrait d'avoir une meilleure maîtrise sur un flux de retour direct sans passer, forcément, par le processus classique de collecte des DEEE.

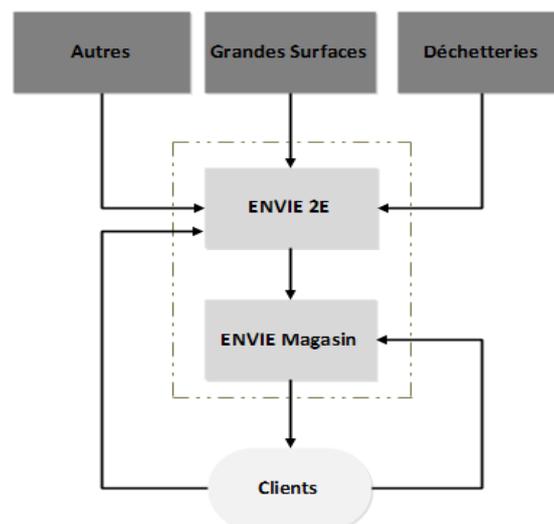


Figure 59 Flux de produits dans le cas PSS

Par ailleurs, une partie de la clientèle d'Envie est constituée par des clients nomades (étudiants notamment) qui n'ont pas le besoin d'investir lourdement sur de tels matériels et n'ont souvent besoin que d'une fonction de lavage sur une courte durée. Outre cette clientèle individuelle, il y a

des clients dont l'activité est de nature collective (professionnels du logement par exemple). Ceux-ci sont susceptibles d'être intéressés par des offres intégrées produits/services à plus forte valeur ajoutée.

Enfin, la servicisation présente des intérêts spécifiques qui permettraient de répondre plus largement à l'enjeu social exprimé plus haut. En effet, elle offre des opportunités pour étendre la variété de compétences métiers sur lesquelles l'entreprise pourrait former le personnel en réinsertion (activités back et front office), même si cela nécessite un investissement en formation.

2.3 La transition vers une offre PSS pour ENVIE

L'entreprise a engagé un processus de servicisation après la décision des dirigeants d'ENVIE Loire de lancer une expérimentation sur un domaine d'activité limité, permettant d'évaluer les transformations nécessaires sur les processus métier de l'entreprise et d'analyser les leviers de pilotage de la performance générée par le développement d'une offre PSS. Les appréhensions des dirigeants concernent trois aspects :

- la gestion des capacités (ressources humaines)⁴ liée au pilotage de la charge de production et de la charge de prestation de service ;
- la gestion de l'offre commerciale ;
- l'interaction entre l'offre commerciale et la gestion des capacités.

Dans ce contexte, la démarche de modélisation et de simulation proposée apporte aux décideurs différentes valeurs ajoutées :

- **la formalisation de connaissances sur les processus existants et futurs de l'entreprise** : l'étape nécessaire de modélisation permet de cartographier l'ensemble des transformations de processus métier internes à l'organisation et donc d'anticiper les changements effectifs ;
- **la représentation et la simulation des comportements de l'entreprise dans certains scénarios ciblés** : l'aide à la décision fournie par la démarche de simulation permet d'explorer différents scénarios impliquant des décisions (structure de l'offre PSS, stratégie de pilotage de la capacité...) faces à des comportements de marché variés. L'information ainsi apportée doit permettre d'informer le décideur sur sa situation de décision et de choisir de manière pertinente parmi les options qui s'offrent à lui ;
- **l'explicitation des effets et des interactions entre déterminants de la performance** : l'aide à la décision permet de mettre en exergue la relation entre l'offre PSS et les leviers de gestion des capacités.

Par ailleurs, il faut souligner que le besoin décisionnel dans le cas d'ENVIE est au niveau de l'accompagnement de la transition au plan industriel et au niveau de la gestion des capacités. Néanmoins, le choix de la servicisation et de l'offre PSS sont aussi motivés par les conséquences et bénéfices espérés d'un point de vue environnemental (meilleure gestion de l'ensemble du cycle de vie de remanufacturing) et sociétal (accroissement de la variété des postes en réinsertion,

⁴ Au niveau d'ENVIE, la plupart des postes de travail sont des postes manuels. La question de gestion des ressources humaines lors de passage vers une offre PSS a été soulevée par les décideurs. Les ressources humaines seront donc caractérisées par leurs compétences et la polyvalence de ses ressources est un levier de gestion important.

facilité d'accès à l'usage des biens d'équipements par une population modeste). Ces deux problématiques ne sont pas traitées dans cette thèse.

2.4 Pertinence de l'étude du cas ENVIE

Les dirigeants d'ENVIE Loire ont choisi de développer l'expérimentation sur la famille de produits « lave-linges ». Il s'agit donc d'évaluer une transition d'un modèle de vente du Lave-Linge, à un modèle de vente de la fonctionnalité de lavage. Le choix du Lave-Linge a été fait pour sa pertinence d'un point de vue académique comme industriel :

- du point de vue académique, le cas de la vente de la fonction lavage est souvent utilisé dans la littérature. Nous pouvons citer les travaux de (Komoto et al. 2005) qui se sont intéressés aux impacts économiques et environnementaux de ce modèle de création de valeur, en utilisant l'analyse de cycle de vie du lave-linge. D'autre part, les travaux de (Wangphanich 2011) abordent, d'une manière globale, la chaîne logistique dans le cas d'une offre PSS : les auteurs ont étudié en particulier l'incidence de ce modèle sur le bullweep effect ;
- du point de vue industriel, l'intérêt se situe sur le produit lui-même : le lave-Linge est un produit qui peut être facturé à l'usage, et dont la réparation, la récupération et le recyclage peuvent être sources de profits. Dans le passé, ce modèle économique a été expérimenté par Electrolux, mais pour des raisons stratégiques et organisationnelles, l'offre n'a pas été maintenue. ENVIE présente un contexte organisationnel bien différent justifiant l'étude proposée.

3 Instanciation du système d'usage pour le cas ENVIE

Afin de configurer et d'instancier le système d'usage et le système productif, des variables caractéristiques des différents éléments de ce système vont être définies en suivant la démarche et les modèles conceptuels présentés précédemment. Cette instanciation vise donc à la fois à fixer les valeurs de certaines caractéristiques de fonctionnement, et à permettre l'analyse de l'influence des variations d'un nombre limité de facteurs : ces facteurs variables feront l'objet des plans d'expérience précisés ultérieurement. Les hypothèses précisées ci-dessous permettent donc de délimiter un espace d'analyse, cohérent avec la réalité des activités d'ENVIE, au sein duquel l'impact des facteurs variables sera approfondi de façon à dégager des règles de gestion utiles aux décideurs de l'entreprise.

Nous commencerons par présenter le modèle de simulation du système d'usage, par la spécification et l'instanciation des caractéristiques du marché, des offres de l'entreprise, des clients (usagers) et des différents processus d'usage.

3.1 Sous-système commercial

3.1.1 Le marché global qui s'adresse à ENVIE

Nous modélisons un marché correspondant à une famille de produits Lave-Linge, notée FP_{L-L} . Le volume périodique (i) de la demande (stationnaire) pour ce marché est modélisé par une loi normale :

$$VFP_{L-L,t} \rightarrow N(60, 5) \text{ /mois}$$

Par ailleurs, nous considérons que la part du marché PSS d'ENVIE par rapport au volume du marché global de celle-ci est une variable aléatoire discrète; nous considérons une probabilité que le client choisissent une offre PSS égale à 10% ($Attr_{PSS} = 0, 1$).

3.1.2 Les Produits

Nous considérons que la famille de produit Lave-Linge comprends deux modèles de produits $FP_{L-L} = \{TP_i / i = 1, 2\}$:

- **Produit 1 (TP_1)** : ce produit est caractérisé par une très bonne qualité (neuve) des modules et composants les constituant.
- **Produit 2 (TP_2)** : ce produit est caractérisé par une qualité moyenne ; il est constitué d'un ensemble de composants issus de la ligne de remanufacturing (des composants ou sous-systèmes récupérés). Néanmoins dans le cas de rupture de stocks de ces composants, une utilisation de composants neufs est tolérée.

La différence entre les deux produits réside dans leur nomenclature (Figure 60), la qualité des composants et leur gamme de production (les temps de gamme).

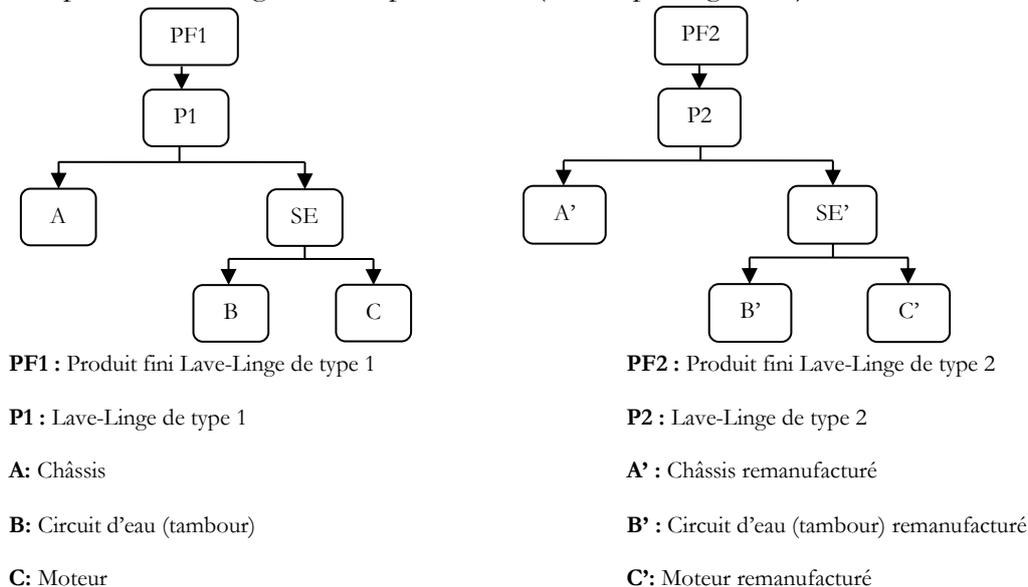


Figure 60 Nomenclature de Produit « lave-linge »

Par ailleurs, la répartition de la demande spécifique sur les deux types de produits (TP_1, TP_2) dépend des paramètres de l'offre de contrat, des profils commerciaux du client et leur choix commercial.

3.1.3 Offre de contrats

3.1.3.1 Offre Vente Classique (Produit + Services optionnels)

L'offre actuelle de l'entreprise ENVIE correspond à une vente de deux types de produits avec des possibilités de prestations de services facturées indépendantes du produit, à savoir la livraison et la maintenance (réparation des produits en cas de panne). L'entreprise propose donc 8 offres dans le cas de la vente (OV_{1-8}) résumé dans le Tableau 17.

| Offre Vente | Type Produit | Service Livraison | Service Maintenance |
|-------------|--------------|-------------------|---------------------|
| OV_1 | TP_1 | Oui | Oui |
| OV_2 | | Oui | Non |
| OV_3 | | Non | Oui |
| OV_4 | | Non | Non |
| OV_5 | TP_2 | Oui | Oui |
| OV_6 | | Oui | Non |
| OV_7 | | Non | Oui |
| OV_8 | | Non | Non |

Tableau 17 Offre de l'entreprise dans le cas de la vente

3.1.3.2 Offre PSS

Nous considérons que l'entreprise ENVIE peut mettre sur le marché un ensemble d'offres $(OC)_i$; chaque offre de contrat est constituée par la spécification d'un type de produit TP_i , d'un bouquet de services (BS_j) associés, d'un niveau de qualité de service (ou exigence, noté GS) pour une durée de contrat ($Durée_cont$). Après avoir spécifié les types de produits, nous avons énuméré, en concertation avec les dirigeants, l'ensemble de services susceptibles d'être mis en œuvre:

- S_1 : Service de livraison,
- S_2 : Service d'installation et de mise en marche,
- S_3 : Service de maintenance curative,
- S_4 : Service de maintenance préventive,
- S_5 : Service de récupération.

Et nous avons défini deux bouquets de services qui peuvent être proposés aux clients. Ces deux bouquets sont constitués d'un ensemble de services :

$$BS_1 = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5\}, BS_2 = \{S_1, S_2, S_3, S_5\}.$$

Par ailleurs nous considérons deux engagements sur la garantie de services. Ils correspondent à l'engagement de l'entreprise pris avec le client sur le délai maximal pour répondre à une sollicitation de service :

GS₁ : service sous 24h, GS₂ : service sous 48h)

Nous pouvons ainsi définir les offres de contrats, proposées par l'entreprise, par la combinaison de ces paramètres. La combinaison complète des différents paramètres de la définition de l'offre conduirait à un nombre important d'offres de contrats possibles (16 offres). Pour faciliter la gestion du portefeuille, en concertation avec les décideurs, on retient une offre PSS constituée de 4 offres de contrats. Le seul paramètre variable de l'offre PSS est la durée de contrat. Le type de

produit, le bouquet de service ainsi que la qualité de service resteront inchangés. L'offre globale de l'entreprise (qui correspond à l'ensemble de ses 4 offres) sera considérée comme levier de décision dans le chapitre suivant. Autrement dit, nous allons tester plusieurs combinaisons d'offre de contrats.

3.1.4 Profil commercial

L'étude de la clientèle d'ENVIE Loire nous a conduits à synthétiser les caractéristiques de comportement commercial avec deux variables permettant de spécifier les profils commerciaux :

- **Vcom1** représente la sensibilité des clients à la composante « service » de l'offre PSS : les clients sont-ils plus ou moins attirés par la consommation de services ? Dans le cas d'ENVIE, Vcom1 prendra 2 modalités : sensibilité forte (S_H) ou faible (S_L) au service.
- **Vcom2** représente l'exigence sur le couple « qualité de service attendue / Qualité du Produit » (EQSP). Dans le cas d'ENVIE, cette variable est définie par trois paramètres (EQSP1, EQSP2, EQSP3). Cette variable synthétise différentes classes de la clientèle réelle : « EQSP1 : Clients professionnel et exigeant », « EQSP2 : Client individuel exigeant » et « EQSP3 : Clients individuel moins exigeant ».

3.1.5 Processus de décision commerciale

Au sein du processus de décision commerciale d'ENVIE, les deux variables (Vcom1 et EQSP) vont influencer la sélection d'une offre par chaque client au sein du portefeuille PSS d'ENVIE. Ce choix est modélisé et instancié par les différentes lois de répartition de la clientèle d'une part sur la variable Vcom1 (avec la loi de probabilité α) et d'autre part sur la variable EQSP (représentée par la loi $\mu_{Vcom1, EQSP}$). Pour les deux lois de répartitions, le manque d'information et l'incertitude nous obligent à être prudents. Ainsi nous allons considérer ces lois comme étant soumises à de l'incertitude. En conséquence, nous serons conduits à étudier ultérieurement différentes valeurs possibles pour ces deux lois. Leur spécification précise sera discutée dans le chapitre 8, section 3.2 consacrée aux facteurs d'incertitude. Dans le cas d'une vente (NPSS) la répartition de la demande sur les prestations de services est indépendante de type de produit (PF1 et PF2). Elle est donnée dans le Tableau 18.

| | Livraison | Maintenance | Livraison + Maintenance | Aucun service |
|-------------|-----------|-------------|-------------------------|---------------|
| Répartition | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |

Tableau 18 Probabilités du comportement commercial (cas vente classique)

3.2 Sous-système d'Usage

3.2.1 Caractéristiques des usagers

Dans le cas du produit Lave-Linge, nous considérons trois variables caractéristiques des usagers :

- **Vusa₁ Fréquence d'utilisation du lave-linge** : Cette variable modélise le type d'utilisation du produit, en effet l'utilisation du produit dépend du besoin du client. Ainsi un client correspondant à un foyer de trois personnes aura une utilisation différente d'un client étudiant.

- **Vusa₂ Qualité de l'entretien** : cette variable modélise la qualité d'entretien du lave-linge par le client. Selon la qualité de l'entretien, le matériel est plus ou moins fragilisé et donc plus ou moins fiable.
- **Vusa₃ Risque de défaut de paiement** : cette variable modélise le risque de retard paiement par le client.

Le Tableau 19 donne l'instanciation des variables caractéristiques définies dans le cas ENVIE (précisément pour le cas du produit Lave-Linge).

| Variable | Description | Modalités | Valeurs |
|-------------------|------------------------------------------------|------------|------------------|
| Vusa ₁ | Intensité d'utilisation (Quantitative) | Normale | 1 fois / semaine |
| | | Abusive | 2 fois / semaine |
| Vusa ₂ | Qualité de l'entretien (Qualitative) | Faible | Faible |
| | | Rigoureuse | Rigoureuse |
| Vusa ₃ | Risque de défaut de paiement (Quantitative) | Faible | 1 fois par an |
| | | Moyen | 2 fois par an |
| | | Elevé | 4 fois par an |

Tableau 19 Les variables d'usage ENVIE

La combinaison des variables caractéristiques des usagers du lave-linge (Vusa1, Vusa2, Vusa3), nous permet de retenir 4 modalités pour profils d'usage (Pusa) (Tableau 20)

| | Vusa ₁ | Vusa ₂ | Vusa ₃ |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Pusa₁ | <i>Normal</i> | <i>Faible</i> | <i>Moyen</i> |
| Pusa₂ | <i>Normal</i> | <i>Rigoureuse</i> | <i>Faible</i> |
| Pusa₃ | <i>Abusif</i> | <i>Faible</i> | <i>Elevé</i> |
| Pusa₄ | <i>Abusif</i> | <i>Rigoureuse</i> | <i>Moyen</i> |

Tableau 20 Profils d'usage

Par ailleurs la répartition des profils d'usage sur l'ensemble des usagers est modélisée par la loi de répartition β . La spécification de cette loi sera discutée dans le chapitre 8 dans la section consacrée aux facteurs d'incertitude.

3.2.2 Caractéristiques des produits

Nous caractérisons les produits Lave-Linge par les variables suivantes :

- **Durée de vie du produit** : nous considérons que la durée de vie du lave-linge est de 8 ans, dans le cas d'un usage moyen ;
- **Taux de réutilisabilité** : cette variable dépend d'autres variables, notamment le Type de produit et le profil d'usage. Les valeurs de cette variable seront données lorsque nous traiterons des flux de remanufacturing ;
- **La fiabilité** : La courbe de fiabilité dépend du profil d'usage (type d'utilisation et qualité d'entretien), de l'usure (temps) et de type du produit. Un exemple de courbe de fiabilité est donné sur la Figure 61. Figure 61 Courbe de fiabilité Lave-Linge TP1

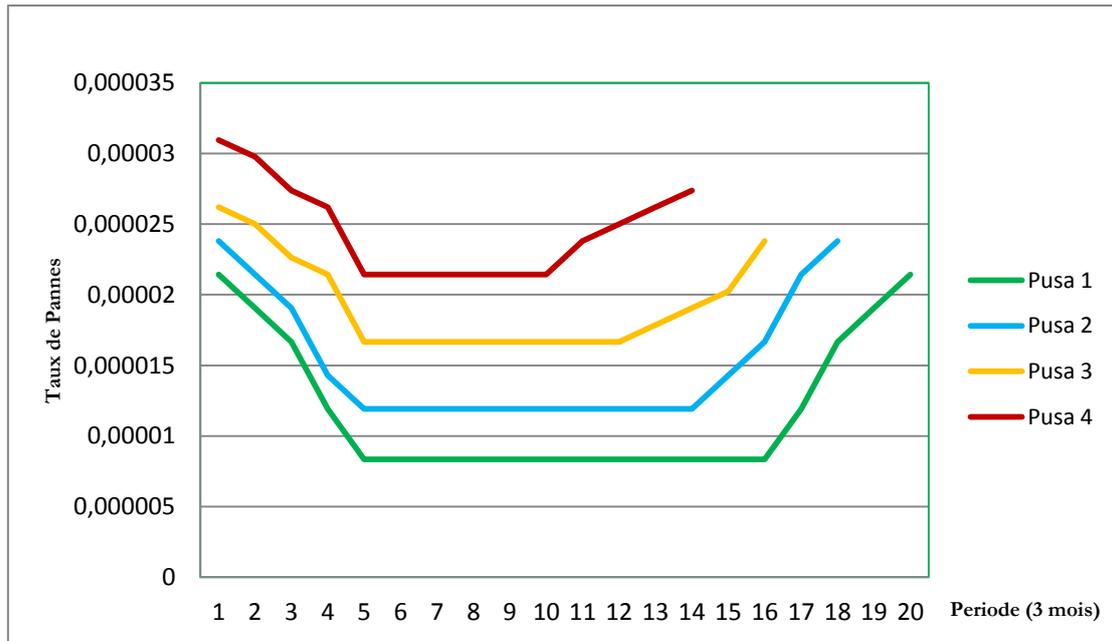


Figure 61 Courbe de fiabilité Lave-Linge TP1

La courbe correspondant à la modalité Pusa1 est la courbe nominale (utilisation normale du Lave-Linge avec un entretien rigoureux). Cette courbe se détériore (Profil 2, 3 et 4) en fonction de la fréquence d'utilisation et de la qualité de l'entretien.

3.2.3 Processus d'usage

Nous allons maintenant décrire les processus d'usage considérés dans le cas du lave-linge, à savoir : le processus d'utilisation du produit, le processus de panne, le processus de paiement et le processus de fidélisation.

3.2.3.1 Processus d'utilisation du produit

Ce processus modélise l'utilisation effective du produit lave-linge. Nous avons modélisé une demande d'utilisation du produit qui dépend du profil d'usage (Figure 62).

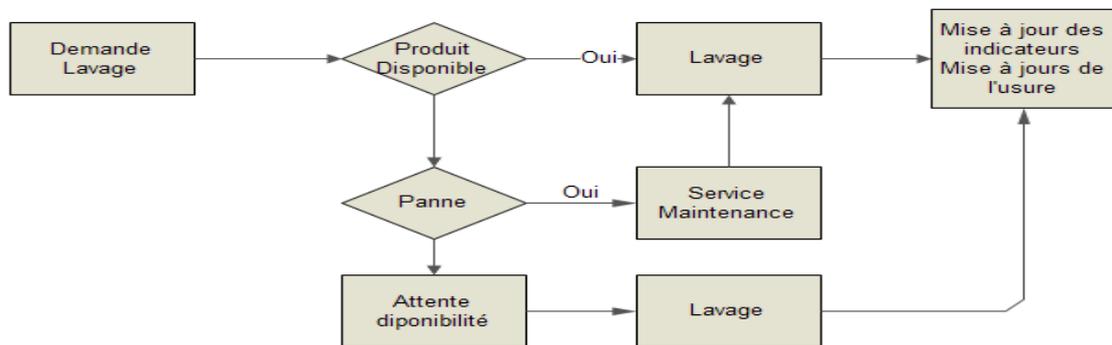


Figure 62 Processus d'utilisation du produit

Au moment de l'expression du besoin de lavage par le client, celui-ci peut être satisfait immédiatement ou différé (lorsque l'équipement est indisponible). L'utilisation du Lave-Linge

permet aussi de mettre à jour l'usure du produit, afin de se situer dans la courbe de fiabilité et déduire le taux de panne correspondant à l'âge actuel du produit.

3.2.3.2 Processus de génération de la panne

L'intervention de maintenance est générée par une panne apparue sur un matériel, lave-linge dont le profil d'usage est défini. Le taux de pannes dépend du type de produit, du profil d'usage et de l'usure à la date courante t . On définit les variables suivantes

- λ : Taux de pannes (variables)
- t : âge réel de la machine (usure)
- $Pusa$: Profil d'usage
- TP_i : Type de produit (TP_1, TP_2)

Nous avons un taux de panne nominal par type de produit. Selon le profil d'usage, ce taux de pannes prendra des caractéristiques et variations différentes. Si on considère que la loi de fiabilité du produit est une loi exponentielle alors, pour chaque usager ayant le profil $Pusa_v$, utilisant un produit de type TP_i on aura la loi de probabilité de la forme : $e^{-\lambda_{Pusa_v, TP_i}(t)}$. Nous allons simuler les pannes, en discrétisant les courbes de fiabilité par période et en considérant le taux de pannes moyen pour chaque période. Les étapes de simulation sont données sur la Figure 63:

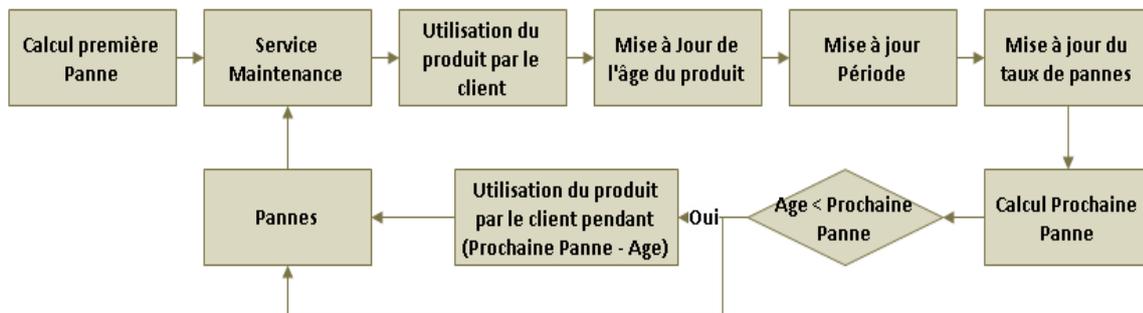


Figure 63 Processus de panne modélisé

Le processus de panne génère les pannes des produits. Nous générons une première panne d'une manière aléatoire, et le modèle de simulation permet de définir la prochaine panne, en considérant les caractéristiques du produit et de l'utilisateur. En effet, l'âge du produit nous permettra de trouver la période dans laquelle on se trouve sur la courbe de fiabilité. Avec la période et la courbe de fiabilité, nous pouvons trouver le taux de panne et déterminer l'instant de la prochaine panne.

3.2.3.3 Processus de paiement

Comme défini dans le modèle conceptuel, ce processus modélise le processus de paiement, en prenant en compte notamment la périodicité de paiement et le profil d'usage de chaque client. La variable caractéristique d'usage « risque de non-paiement » intervient au niveau de la décision « Paiement » qui dépend de profil d'usage. Dans le cas de non-paiement, on vérifie si le contrat arrive à terme ou si le client n'est plus en capacité de payer à l'utilisation du produit et si le client a déjà fait défaut de paiement trop souvent; dans ces trois cas, on récupère le produit. Sinon, on met à jour l'indicateur de suivi de trésorerie et de suivi de la « réputation du client ». L'indicateur

de réputation du client peut pousser l'entreprise à rompre le contrat si le client n'est pas en mesure de payer ou s'il y a récurrence dans le retard de paiement.

3.2.3.4 Processus de fidélisation

Dans une offre PSS, la possibilité de rompre ou de prolonger le contrat s'offre au client. Dans le cas de notre étude de cas, nous avons souhaité de faire une étude en considérant qu'il n'y a pas de client prolongeant son contrat, nous aurons donc, pour tout client j : $Pr(Pcom(clientj) = i) = 0$. Ceci pour simplifier le plan d'expérience et considérer à un volume « stable » de client par période.

4 Instanciation du système productif pour le cas ENVIE

Nous allons maintenant présenter le modèle de simulation du système productif, par la spécification et l'instanciation des processus de fabrication, des processus remanufacturing, des processus de service et des processus de planification.

4.1 Les processus de fabrication

Le système de fabrication d'ENVIE peut être adapté à notre modèle conceptuel. Le système physique est constitué de trois processus de production, de six niveaux de stockage pour chaque produit et d'un système de pilotage. Les processus seront modélisés par une ressource qui sera caractérisée par sa (ses) compétence(s).

1. **Processus 1 (Assemblage 1) :** Le premier processus correspond à l'assemblage du bloc laveur (Moteur + Circuit d'eau), à la fin de ce processus un contrôle est effectué pour s'assurer que l'assemblage est correctement fait.
2. **Processus 2 (Assemblage 2) :** Après l'assemblage du bloc laveur, un assemblage final (bloc laveur + châssis) permet l'obtention du lave-linge, un contrôle est effectué pour s'assurer que l'assemblage est correctement fait.
3. **Processus 3 (Finition) :** A la fin du processus de production, un processus de test et d'emballage du produit est prévu. Ce processus alimentera le stock des produits finis, prêt à la livraison.

Les temps de gamme qui correspondent à la production de chaque type de produit (TP1, TP2) sont donnés dans le Tableau 21. De manière générale, Envie 2E dispose de stocks de matière première. Le centre de production (Magasin ENVIE 2E) fonctionne avec des stocks déportés (sur le site d'ENVIE 2E) et avec des réserves avancées sur le site de production (Magasin ENVIE 2E). La Figure 64 décrit le flux de production :

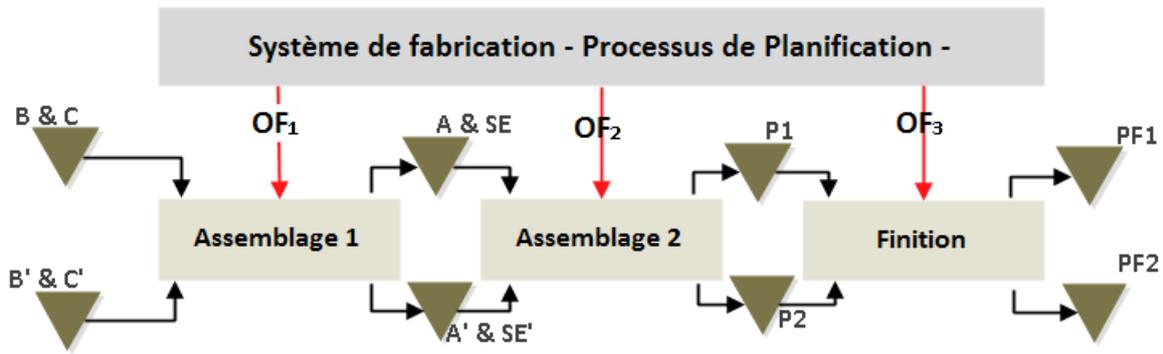


Figure 64 Processus de fabrication

| | Temps de gamme (heure) /Produit TP1 | Temps de gamme (heure) /Produit TP2 |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Processus d'Assemblage 1 | Norm (2, 0.2) | Norm (3, 0.3) |
| Processus d'Assemblage 2 | Norm (2, 0.2) | Norm (3, 0.3) |
| Processus de Finition | Norm (3, 0.3) | Norm (4, 0.4) |

Tableau 21 Gamme de fabrication

4.2 Les processus de remanufacturing

Dans le processus de remanufacturing, on désassemble les produits récupérés soit de la collecte (externe) soit à l'échéance d'un contrat PSS. Le désassemblage permet d'extraire des composants A', B' et C', le sous-ensemble SE' et même parfois les produit P2 avec une certaine proportion.

La finalité du système de remanufacturing est d'alimenter les stocks des composants/produits (A', B', C', SE', P2) du système de production. Le système de remanufacturing est constitué de deux processus et de deux niveaux de stockage (S4 et S5) (Figure 65).

S4: Stock des produits récupérés pour désassemblage (Pr)

S5: Stock sous-système SE' à désassembler (SEr).

- **Processus 4 (Désassemblage 1) :** Le premier désassemblage permet l'obtention du châssis (A') et du bloc laveur (SE'). Un test est effectué pour savoir si les composants et modules obtenus par ce premier désassemblage peuvent être réutilisés directement, donc alimenter directement les stocks composants du processus de production, ou bien si un autre désassemblage est nécessaire.
- **Processus 5 (Désassemblage 2) :** Le deuxième désassemblage concerne le bloc laveur (SEr), il permettra l'obtention du moteur et du tambour ().

Les temps de gamme correspondant à la production de chaque type de produit sont donnés dans le Tableau 22.

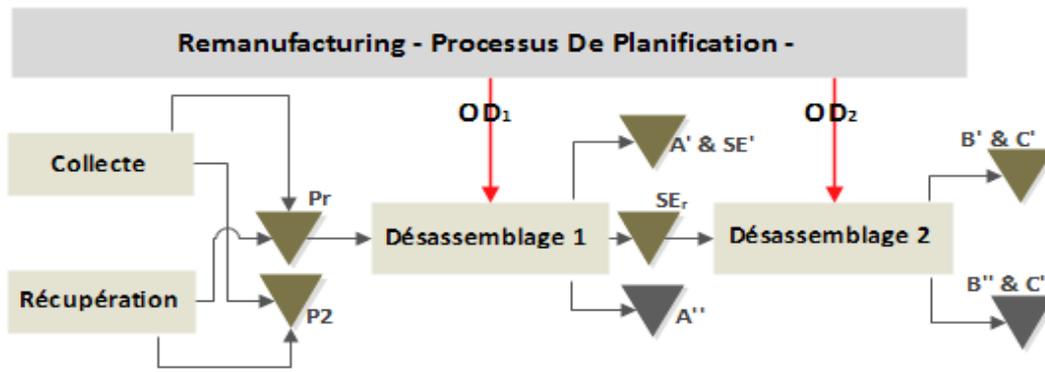


Figure 65 Processus de désassemblage

| | Temps de gamme désassemblage (heure) |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Processus de Désassemblage 1 | Norm (3, 0.3) |
| Processus de Désassemblage 2 | Norm (3, 0.3) |

Tableau 22 Gamme de remanufacturing

4.3 Les processus de réalisation de service

Les processus de réalisation des services proposés par ENVIE (Livraison, Installation, Maintenance Curative, Maintenance Préventive et Récupération du produit) sont effectués par des ressources humaines et matérielles (véhicules, outils...). Dans notre étude, nous considérons que les ressources matérielles sont toujours disponibles pour accompagner les services. Par contre, une gestion attentive des ressources humaines doit être adoptée afin de pouvoir répondre d'une manière efficace (moindre coût, délais ...) aux différentes sollicitations de service.

Les processus de services sont déclenchés à partir des sollicitations du système productif (Output du système d'usage) comme le montre la Figure 66. Ci-après, les sollicitations du système productif :

- **Arrivée d'une demande PSS:** Sollicite le système de production (stocks produits finis) ainsi que le service livraison.
- **Arrivée d'une demande vente:** Sollicite le système de production (stocks produits finis) ainsi que le service livraison pour les clients ayant choisi l'option livraison.
- **Arrivée d'une panne dans le cas PSS:** sollicite le service maintenance dans le cas PSS.
- **Maintenance préventive :** effectuée d'une manière périodique.
- **Arrivée d'une panne dans le cas Vente:** sollicite le service maintenance dans le cas vente, celle-ci concerne uniquement les clients ayant choisi l'option maintenance.
- **Fin de contrat :** A la fin du contrat pour chaque client, le service de récupération est sollicité pour récupérer le produit chez le client.

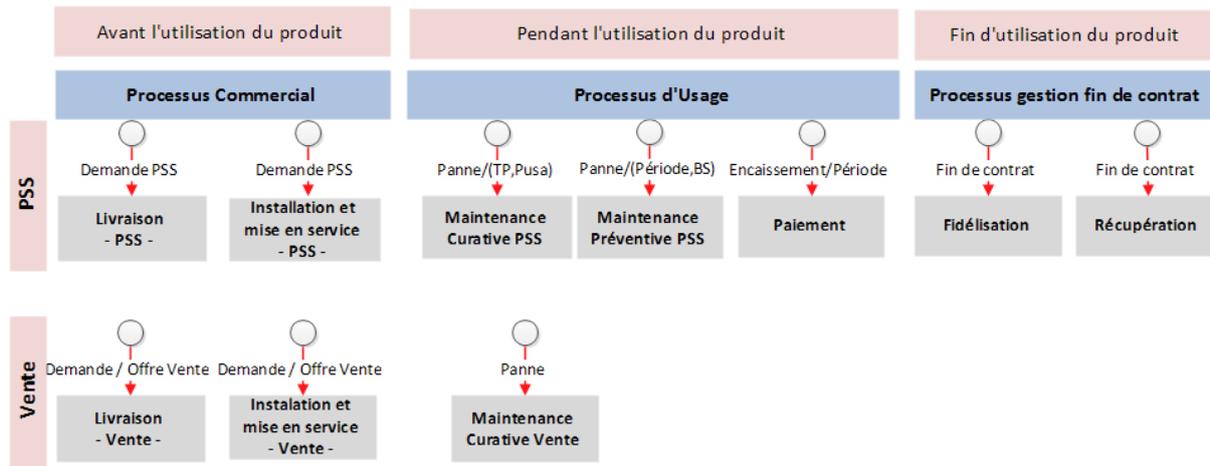


Figure 66 Les différents processus de service

Les temps de gamme correspondant à la réalisation de chaque service sont donnés dans le Tableau 23.

| | Temps de gamme/processus (heure) |
|----------------------------------------|----------------------------------|
| Processus livraison | Norm (1,5, 0.15) |
| Processus d'installation | Norm (1, 0.1) |
| Processus collecte [h/collecte] | Norm (3, 0.3) |
| Processus d'intervention | Norm (3, 0.3) |
| Processus de récupération | Norm (3, 0.3) |

Tableau 23 Gamme de réalisation des services

4.4 Les processus de planification

Le processus de planification chez ENVIE est une version simplifiée du processus MRPII classique ; le processus moyen terme (calcul des besoins nets) est l'élément central de la planification.

Il est difficile pour ENVIE de définir un Plan Industriel et Commercial dans le processus de planification. En effet, deux facteurs viennent contraindre une vision long terme de la planification chez ENVIE : (i) le caractère très aléatoire de la quantité des produits disponibles dans les points de collectes et (ii) la qualité des produits collectés.

Chaque semaine, un calcul des besoins est réalisé. C'est à partir de celui-ci que sont calculés :

- Une fois par mois, les charges associées aux besoins nets de produits finis.
- Une fois par semaine, les besoins nets à lancer en production.

Pour la simulation, nous avons développé, sous Excel, le processus de planification et de calcul des Ordre de Fabrication (OF), Ordre d'Achat (OA) et Ordre de Désassemblage (OD). Ce calcul prend en considération certaines informations et hypothèses :

- **Stock de sécurité nul** : Pour les différents stocks du système de production (fabrication et remanufacturing), nous ne considérons pas un stock de sécurité,

- **Stock en début de simulation :** Les stocks en début de simulation (début de période) ne sont pas nuls pour l'ensemble des stocks.
- **Demande moyenne/mois :** Pour le calcul des besoins, nous considérons une demande moyenne de 60 produits/mois,
- **Probabilité de récupération des composants et modules :** A la fin de chaque processus de désassemblage, un contrôle est effectué. Et à chaque étape une décision est prise pour l'orientation des composants/produits qui sont issus du désassemblage (Figure 67),
- **Offre globale :** les paramètres liés à l'offre influent sur les décisions de gestion. En effet, le Type Produit et la Durée de contrat influent sur le processus de planification (impactent à la fois la demande et le flux de récupération des produits).
- **Lot de collecte :** correspond à la quantité moyenne de produit collecté par unité de période.
- **Attractivité PSS**
- **Demande moyenne/Profil d'usage du client,**

Le modèle de simulation exécute les OF (Ordre de Fabrication), OA (Ordre d'Achat) et OD (Ordre de Désassemblage) si les stocks et les ressources nécessaires pour leurs exécutions sont disponibles (Figure 67).

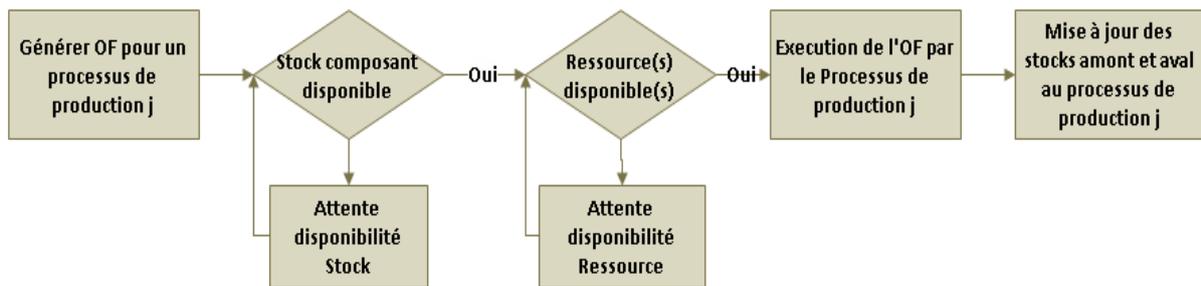


Figure 67 Processus de gestion de la fabrication

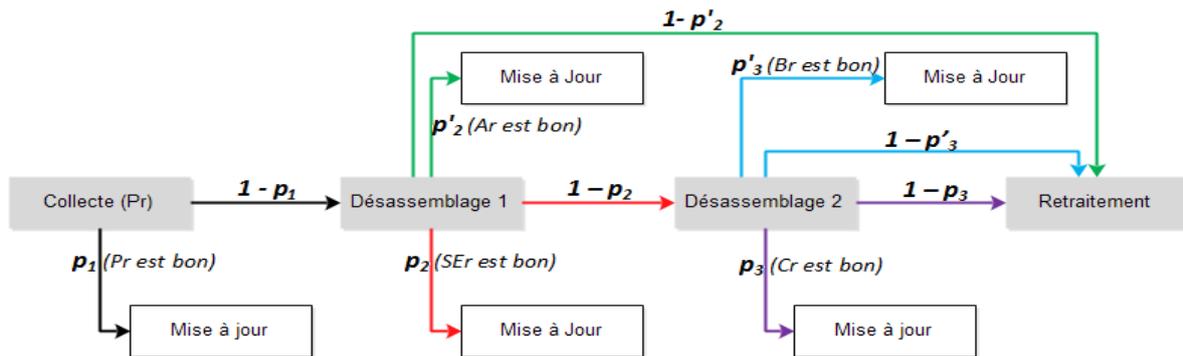


Figure 68 Processus de gestion de remanufacturing

Sur la Figure 68, les probabilités correspondent à la proportion des produits, sous-ensembles et des composants récupérés qui sont considérés comme bons. La valeur dépend de l'âge du produit et du profil de l'utilisateur. Ainsi plus le produit est utilisé, moins on a de chance de récupérer certains modules et composants. Et cette chance sera d'autant plus faible si le produit est utilisé par un usager dont la qualité d'entretien est mauvaise ainsi que si l'origine du produit est le

remanufacturing (TP2) (on a de moins en moins de chance de récupération si le produit est remanufacturé et remis à la vente). Le Tableau 24 donne un exemple de la logique d'orientation des flux dans le cas de remanufacturing :

| Valeur (Pusa,TP) | Période (années) | 0-3 | 3-6 | 6-8 |
|------------------|------------------|-----|-----|-----|
| (Pusa=1, TP=1) | Prob | 0,8 | 0,5 | 0,3 |
| | Prob2 | 0,8 | 0,6 | 0,4 |
| | Prob'2 | 1 | 0,8 | 0,6 |
| | Prob3 | 1 | 0,8 | 0,6 |
| | Prob'3 | 1 | 0,8 | 0,6 |
| (Pusa=1, TP=2) | Prob1 | 0,6 | 0,2 | 0 |
| | Prob2 | 0,6 | 0,5 | 0,2 |
| | Prob'2 | 0,7 | 0,7 | 0,3 |
| | Prob3 | 0,7 | 0,6 | 0,3 |
| | Prob'3 | 0,7 | 0,6 | 0,3 |

Tableau 24 Exemple des probabilités de récupération selon l'âge et le profil d'usage du client

5 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter l'entreprise ENVIE et sa volonté de transition graduelle vers une offre PSS. Une transition que les décideurs d'ENVIE souhaitent prudente et réfléchie. L'étude de cas nous a permis d'instancier les variables et paramètres que nous avons défini dans les modèles conceptuels du système d'usage et du système productif.

L'instanciation a fait ressortir quelques éléments de difficulté, notamment quant à l'instanciation de certaines variables d'usage (informations non disponibles ou très flou). Nous avons donc estimé que ces variables devront être étudiées en les considérant comme sources d'incertitude, pour analyser l'impact du système productif vis-à-vis de ces variables.

Chapitre 8

Aide à la décision, analyse et interprétation des résultats

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'application de la démarche de modélisation et de simulation sur le cas d'étude ENVIE. Nous avons présenté le cas ENVIE dans le chapitre précédent, avec ses spécificités. Les attentes de cette phase peuvent être résumées ainsi :

Pour répondre au besoin en aide à la décision chez ENVIE, l'objectif est la mise en lumière et la compréhension des phénomènes induits par une transition vers une offre PSS ; ces phénomènes sont liés à la fois aux variables du système d'usage et à celles du système productif. Le besoin n'est pas celui d'une analyse exhaustive de toutes les possibilités de configuration, mais d'étudier quelques configurations de l'offre PSS et du système productif pour pouvoir comprendre les phénomènes qui lient l'offre PSS aux performances du système de production et ainsi d'étayer la décision pour le choix de la configuration la plus satisfaisante et la plus robuste.

L'étude de cas sera aussi une étude de faisabilité et d'adaptabilité des modèles conceptuels et de la démarche de modélisation et de simulation que nous avons proposé.

Enfin, nous examinerons les possibilités d'extrapoler certaines conclusions à des situations plus génériques des systèmes de production orientés PSS. En effet, et sur la base, d'une part, de la démarche de modélisation et de simulation proposée et appliquée sur le cas ENVIE et d'autre part du processus de contextualisation, nous pouvons ainsi déduire quelques conclusions « génériques » sur la gestion des capacités et de l'offre de contrat. Néanmoins, les conclusions doivent être lues sous couvert des hypothèses formulées.

Nous allons commencer ce chapitre par détailler le modèle de simulation (les différents processus et composants du simulateur) et la démarche de validation. Une des difficultés relatives à cette étape de validation est l'absence d'un modèle réel pour le cas PSS pour comparer les résultats de la simulation.

Nous expliquerons aussi le plan d'expérimentation mis en œuvre, nous interpréterons les résultats qui ont été obtenus par simulation et nous finirons en développant des conclusions et recommandations de gestion.

2 Construction et validation du modèle de simulation

2.1 Les besoins du simulateur

Au regard de l'aide à la décision recherchée et explicitée dans le chapitre précédent, les besoins relatifs au modèle de simulation ont été identifiés :

1. Capacité du simulateur à comparer et analyser différentes configurations alternatives du système productif des PME pour délivrer les PSS. Ces configurations dépendent des modes de gestion interne des processus métiers de l'entreprise (compétences des ressources et règles d'affectation des ressources) et des choix de la configuration de l'offre commerciale (constitution de l'offre PSS de l'entreprise).
→ ***Besoin de représenter des processus manufacturiers, des processus de service, des processus de décisions commerciales et des processus d'usage***
2. Capacité du simulateur à traiter d'autres leviers et règles de gestion, au-delà de la question de la gestion des ressources et de l'offre de contrat (le simulateur permettra aussi d'étudier le mode de gestion de la production, la gestion des stocks...).
→ ***Besoin de représenter des processus de planification***
3. Capacité du modèle de simulation à représenter le fonctionnement dynamique des processus internes de l'entreprise (production de biens comme réalisation de services) à un niveau suffisamment détaillé pour analyser l'impact du choix des modes de gestion et de pilotage opérationnel interne sur la performance globale de l'entreprise.
4. Capacité à représenter la variabilité des comportements décisionnels et d'usage de la clientèle susceptibles d'influencer le fonctionnement dynamique du système productif.
→ ***Le simulateur doit modéliser les processus et intégrer des variables stochastiques à un niveau de granularité suffisant pour répondre à ces exigences (pour les processus manufacturiers, les processus de service, les processus commerciaux et d'usages)***
5. Capacité à représenter les interactions entre, d'une part les comportements et sollicitations des clients issus de leurs comportements commerciaux tout comme d'usage des produits, et d'autre part le fonctionnement du système productif. L'objectif est d'étudier l'interaction entre des facteurs liés aux comportements des clients/usagers et ceux liés aux choix industriels intra-entreprise.
→ ***Le simulateur doit être orienté processus et à évènements discrets, afin de pouvoir lier les différents processus et leurs interactions à travers les différentes sollicitations.***

A partir de ces besoins, et en référence aux conclusions de l'état de l'art nous avons choisi une modélisation orientée processus et une simulation à évènements discrets. Le logiciel de simulation SIMAN-ARENA possède tous les éléments pouvant être nécessaires pour mener à bien notre modélisation. En effet le logiciel est constitué de blocs et des fonctions génériques qui permettent

de modéliser un système complexe à travers ses blocs représentatifs de processus (Kelton et al. 2004). Le logiciel permet un couplage avec VBA et permettra l'automatisation de certaines phases de la simulation.

2.2 Validation du simulateur

La validation d'un modèle est une étape à part entière dans le processus de modélisation et de simulation des systèmes complexes (Zeigler et al 2000)(Marques 2010)(Fathallah 2011). Elle permet de s'assurer que le modèle est « fidèle » au fonctionnement visé (la réalité ou le scénario retenu) et qu'on pourra ainsi lui faire « confiance » lors de son exploitation. Par ailleurs, il existe plusieurs stratégies et approches de validation (Chapurlat 2007). En effet, une validation dépend fortement du contexte et du cadre de l'étude, du choix de l'approche de modélisation et d'abstraction, du modèle réel et des objectifs d'analyse.

Dans nos travaux, et parce que la situation que nous étudions (cas PSS) n'existe pas encore dans la réalité, la validation ne peut pas se faire par analyse d'écart entre les résultats de la simulation et des indicateurs captés sur une situation connue. Nous chercherons donc à analyser les résultats de la simulation par rapport à des phénomènes (grandeurs, tendances ...) espérés et relatifs :

- Rapprochement des résultats de simulation obtenus pour une situation dans l'offre PSS, avec les indicateurs actuels globaux de l'entreprise,
- Phénomènes associés à des mécanismes usuels en gestion industrielle (ex : dégradation de la qualité de service lorsque les réapprovisionnements de stocks sont insuffisants ou désynchronisés, ...)
- Analyse fine de la cohérence des résultats obtenus avec des scénarios de configuration différents (configurations croisant les modalités possibles sur le système de production comme sur le système d'usage)

La validation du modèle de simulation a été appliquée tout au long de l'implémentation du modèle sur SIMAN-ARENA, de manière progressive. Ainsi, la démarche de validation a consisté en quatre étapes :

- Vérifier l'adéquation entre les résultats obtenus de la simulation et les résultats attendus pour chacun des processus simulés (Demande en PSS, Demande en P+S, Charge services, Charge production, Charge Remanufacturing, Nombre de pannes...), nous avons fait en premier lieu une validation locale, processus par processus.
 - a. **Cartographie des processus modélisés** : cette étape nous permet d'être exhaustifs par rapport au système modélisé. Elle nous permet d'avoir une vision globale des différents processus modélisés et de leurs interactions,
 - b. **Validation intra processus** : Pour chaque processus, vérifier la cohérence entre Input/Output. Vérifier la correspondance entre les résultats générés par le modèle de simulation et un ensemble de grandeurs attendues.
- Repérer, caractériser, expliquer les comportements atypiques observés.

- c. **Validation Inter processus** : Pour les processus qui sont interdépendants, nous avons vérifié la cohérence entre Input/Output. Nous avons aussi vérifié et validé la cohérence entre les résultats de la simulation et les estimations qui lient les processus inter dépendants.
- Evaluer la robustesse du simulateur confronté à des cas extrêmes et déterminer son périmètre de bon fonctionnement :
- d. **Vérification des cas extrêmes** : Pour le modèle global, tester et évaluer le fonctionnement du système par rapport à des cas extrêmes pour certaines variables (stocks initiaux nuls, absence d’OF, absence de ressource, augmentation/diminution des ressources, augmentation/diminution de la demande, lot de collecte nul...).

Afin d’appliquer de manière systématique cette phase de validation nous avons configuré et utilisé des fichiers de traçabilité du fonctionnement interne du simulateur, permettant le suivi, pas à pas, de certains indicateurs, ainsi que des entités manipulées au sein du modèle de simulation. Nous avons donc une trace complète du fonctionnement du modèle de simulation. Les tableaux qui suivent nous donnent l’ensemble des processus validés, avec les inputs /outputs pour chaque processus et les indicateurs de validation.

| | Processus | Input | Output | Paramètres à suivre (valider) |
|-----------------|----------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Système d’Usage | Formulation de la demande | Demande globale | Demande PSS Demande Vente | Demande PSS / demande totale Demande Vente/ demande globale |
| | Décision commercial | Demande PSS | Demande Pcom Demande OC...Demande Pusa | Demande Pcom/Demande totale Demande OC / Demande totale |
| | Utilisation Produit | PSS livré | Lavage ; Age du produit | Nombre de Lavages ; Usure du produit |
| | Panne de produit | PSS livré | Panne / Type de produit ; Panne / Type contrat ; Age du produit ; Périodicité de panne | Nombre de pannes ; Age du produit ; MTBF |
| | Fidélisation | Client fin de contrat | Fidélisation ou pas ; Nouvelle échéance du contrat | Nombre de prolongations / nombre total fins de contrats |
| | Paiement | PSS livré | Paiement ; Incident paiement | Nombre d’incidents de paiement ; Nombre de paiements (mensualité) |

Tableau 25 Paramètres soumis à validation, sur les processus du système d’usage

| | Processus | Input | Output | Paramètres à suivre (valider) |
|------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Système de fabrication | Processus de gestion des approvisionnements | OA (Ordre d'Achat); Collectes en déchetteries | Mise à jour stocks composants neufs MAJ stocks remanufacturing | Nombre d'OA générés / temps de simulation Nombre de collectes / Temps de simulation |
| | Processus de gestion du lancement production | OF (Ordre de Fabrication) | Lancements de production (stocks suffisants, ressources disponibles) | Nombre d'OF générés Nombre d'OF : satisfaits avec retard/ Satisfaits avec remplacement/ Non satisfait |
| | Processus de gestion de Tri | Produits récupérés Produits collectés | Mise à jour stock remanufacturé | Quantité produit récupéré Quantité produit (module ou composants) mis à jours Quantité produit collecté |
| | Processus Fabrication (Production et remanufacturing) | OF (OA) | Mise à jour des stocks | Cycle de production Quantité produite Quantité OF (OA) |

Tableau 26 Paramètres soumis à validation, sur les processus du système fabrication

| Systeme de servuction | Processus | Input | Output | Paramètres à suivre (valider) |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Service en cas de P+S | Livraison et Installation | Client ayant contracté le service livraison | Livraison du produit | Nombre de livraisons |
| | Maintenance Curative | Client ayant contracté le service Maintenance Curative | intervention | Nombre de pannes ; Nombre d'interventions |
| Service en cas de PSS | Livraison et Installation | Les PSS admis pour livraison | Livraison du produit | Nombre de livraisons |
| | Maintenance Préventive | Panne | intervention | Nombre d'interventions P ; Nombre de pannes P |
| | Maintenance Curative | Panne Contrat de Maintenance | intervention | Nombre d'interventions ; Nombre de pannes |
| | Récupération | Contrat de livraison | Récupération produits en fin de contrat | Nombre de récupérations / Nombre de fins de contrat |
| | Collecte | Demande de collecte | Collecte produits en déchetterie | Nombre de produits collectés |

Tableau 27 Paramètres soumis à validation, sur les processus du système de servuction

Le modèle présenté a été transcrit dans le logiciel SIMAN-ARENA sur lequel ont été réalisées les différentes simulations. Chaque scénario a été simulé sur une durée de fonctionnement de l'entreprise de 7 ans (11 760 heures) et a été répliqué 20 fois. Une période de transition de deux ans a été définie afin d'analyser le système en régime permanent (phase stable). Cette période correspond à la durée maximale d'un contrat ; ainsi à partir de deux ans, nous aurons un système stable en termes de flux (Contrats récupérés/Contrats vendus). Pour chaque scénario, les indicateurs de performance ont donc été calculés.

Une fois le modèle de simulation construit et validé, il pourra alors être exploité par le(s) décideur(s). Le(s) décideur(s) pourra(ont) ainsi tester, dans un cadre et un contexte expérimental bien définis, plusieurs scénarios de configuration. Une configuration représente une instanciation de différents paramètres du modèle de simulation. La simulation fournira différents indicateurs de performance. Ces résultats seront alors analysés et interprétés lors de la dernière phase qui viendra éclairer l'analyse du comportement du système et, le cas échéant, permettra d'établir des recommandations en termes de management.

3 Construction du plan d'expérimentation

Nous travaillons sur une situation de transition d'une entreprise initialement positionnée sur l'activité de vente de produits, complétée par deux services additionnels (livraison et maintenance) et dimensionnée, en termes de ressources humaines, pour assurer une bonne qualité de services.

Les décideurs souhaitent voir le comportement et la performance du système productif face à une nouvelle situation d'offre intégrée de type PSS, tout en cherchant à conserver le même niveau de dimensionnement des ressources humaines. Le modèle de simulation nous donne l'opportunité de tester des facteurs de gestion industrielle ainsi que des facteurs commerciaux et de comportements des clients.

Par ailleurs, la démarche de modélisation et de simulation des processus répond tout à fait aux besoins précis de modélisation et d'analyse identifiée ci-dessus, elle ne s'inscrit pas dans une optique de recherche d'optimisation de la performance. L'optimisation s'inscrirait en effet dans une volonté d'analyse systématique de l'ensemble des configurations potentielles, qui induirait des temps de simulation largement excessifs par rapport aux contraintes de l'étude. Au contraire, la démarche de simulation requiert de discerner a priori un espace relativement restreint de paramètres (variables) permettant de définir les configurations. Ces paramètres sont ciblés pour répondre aux besoins d'analyse décisionnelle spécifiés au chapitre 7 : en l'occurrence, nous limitons l'étude aux leviers de gestion des ressources (compétences et règles d'affectation) et au levier d'offre de contrat ; ces leviers seront étudiés sous incertitude des comportements commerciaux et d'usage.

Dans le plan d'expérience que nous allons étudier, nous distinguons deux « familles » de facteurs : d'une part, des **facteurs de décision** sur lesquels l'entreprise pourra agir, notamment la compétence des ressources et la règle d'affectation des ressources, et d'autre part les **facteurs d'incertitude** sur lesquels l'entreprise n'a pas beaucoup de marges de manœuvre, telles l'exigence Qualité du Service/Qualité du Produit des clients ou encore leur sensibilité au service apporté. Nous développerons dans la section qui suit l'ensemble des facteurs de décision et d'incertitude que nous considérons.

Le plan d'expériences définit l'ensemble des expérimentations et configurations qui seront à étudier. Ces configurations sont obtenues à travers l'instanciation des variables du modèle de simulation. Parmi les variables de simulation à instancier, nous distinguons les paramètres fixes de paramètres configurables. Les paramètres fixes correspondent à des variables instanciées avec la même valeur pour toutes les configurations analysées (par exemple demande globale, nomenclature du produit, gamme de production...). Les paramètres configurables correspondent à des variables dont l'instanciation dépendra de chaque configuration analysée. Ainsi, les variables considérées comme facteur de décision ou d'incertitude seront instanciées différemment d'une configuration à une autre afin de répondre au besoin d'analyse d'un plan d'expérience complet. Le plan d'expérience que nous allons dérouler correspond donc à une combinaison des valeurs prises par les facteurs variables liés au système industriel (en termes de gestion des ressources) et au système d'usage (en termes de la définition du contrat). Pour chaque configuration du plan d'expérience, le modèle de simulation permet l'obtention d'un ensemble de fichiers résultats.

Ceux-ci correspondent à un ensemble d'indicateurs de performance et de suivi utiles pour l'analyse et l'interprétation des résultats.

3.1 Facteurs de décision

Dans le cas de l'entreprise ENVIE, les dirigeants ont exprimé leur volonté de maintenir le même dimensionnement de ressources humaines qu'avant la transition vers le PSS et se posent des questions relatives à la gestion des ressources d'une part et la configuration de l'offre de contrat d'autre part.

- Concernant la gestion des ressources : les leviers privilégiés d'amélioration de la performance sont la polyvalence des ressources et la règle d'affectation de celles-ci sur les activités de l'entreprise. Ces deux leviers peuvent permettre d'augmenter la flexibilité en ressources de l'organisation afin de répondre aux sollicitations et variations de charge induites par de nouveaux services.
- L'offre de contrat PSS peut aussi être un moyen de régulation ou d'amélioration de la performance. En effet, en maintenant stable le volume de ressources, l'offre de contrat doit être configurée d'une manière à satisfaire, avec les moyens dont dispose l'entreprise, les sollicitations des nouveaux services.

Nous considérons ici trois pôles de compétence : la compétence en revalorisation, la compétence en fabrication et la compétence en service. Les ressources ayant une compétence en service peuvent effectuer l'ensemble des services de l'entreprise. Ceci est une hypothèse réaliste dans le cas d'ENVIE. Dans le cas où il apparaît un conflit sur les ressources au niveau des activités de services, une règle de priorité est définie pour l'ensemble des configurations, ces priorités sont comme suit :

1. le service Collecte ;
2. le service Récupération ;
3. le service Livraison (Vente et PSS) ;
4. le service Maintenance (curative et préventive).

Nous allons détailler chaque levier de décision avec les modalités traitées dans le plan d'expérience.

3.1.1 Degrés de flexibilité en compétence disponible

Nous allons considérer, pour ce facteur, trois modalités distinctes. Ces modalités sont définies à partir de deux paramètres (Tableau 28):

- Nombre de ressources spécialisées : correspond au nombre de ressources qui ne peuvent exécuter qu'une seule activité (Production ou Revalorisation ou Service).
- Nombre de ressources polyvalentes : correspond au nombre de ressources qui ont, au moins, deux compétences différentes et peuvent ainsi être utilisées par au moins deux activités différentes (Production, Revalorisation et Service).

| Facteur | <i>Modalité 1</i> | <i>Modalité 2</i> | <i>Modalité 3</i> |
|-----------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | <i>Sans polyvalence</i> | <i>Polyvalence partielle</i> | <i>Polyvalence totale</i> |
| Nombre ressources polyvalentes/Nombre de ressources total | 0 | 3/11 | 11/11 |

Tableau 28 Degré de flexibilité en compétence

3.1.2 La règle d'affectation des ressources

Pour la règle d'affectation des ressources, applicable lorsque des ressources polyvalentes sont sollicitées simultanément par plusieurs activités, nous considérons deux règles (modalités) (Tableau 29) :

- Priorité aux activités de service, quitte à supporter des ruptures de stocks en production.
- Priorité aux activités de fabrication : par rapport aux prestations de services, quitte à supporter des coûts supplémentaires liés au retard de l'exécution des prestations de service.

| Facteur | <i>Modalité1</i> | <i>Modalité2</i> |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Règle d'affectation | Priorité aux activités de service | Priorité aux activités de fabrication |

Tableau 29 Règles d'affectation des ressources

3.1.3 L'offre PSS globale

L'entreprise retient une offre globale constituée de quatre offres de contrat PSS, qui se différencient par des paramètres fixés par les décideurs d'ENVIE à savoir le type de produit, le bouquet de service et la garantie de service. Nous considérons que l'ensemble de ces quatre offres constitue l'offre globale de l'entreprise. Les décideurs ont formulé le souhait d'analyser l'impact de la durée de contrat (courte : DC1, ou longue : DC2) sur la performance de l'entreprise. Ainsi, l'affectation d'une durée à chacun des quatre contrats au sein de l'offre globale définit une modalité de l'offre globale. Pour les deux premières modalités, la durée est identique pour les quatre offres, avec une durée d'un an (DC1) pour la modalité 1 et de deux ans (DC2) pour la modalité 2. Dans les deux autres modalités les durées de contrat (DC1 ou DC2) sont liées au type de produit (TP1 ou TP2) (Tableau 30).

| | <i>Modalité 1 : Offre Globale 1</i> | | | | <i>Modalité 2 : Offre Globale 2</i> | | | |
|------------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| | OC1 | OC2 | OC3 | OC4 | OC1 | OC2 | OC3 | OC4 |
| Offre de contrat | | | | | | | | |
| Type Produit | TP1 | | TP2 | | TP1 | | TP2 | |
| Bouquet Service | BS1 | BS2 | BS1 | BS2 | BS1 | BS2 | BS1 | BS2 |
| Garantie Service | GS1 | GS2 | GS1 | GS2 | GS1 | GS2 | GS1 | GS2 |
| Durée Contrat | DC1 | | | | DC2 | | | |

| | <i>Modalité 3 : Offre Globale 3</i> | | | | <i>Modalité 4 : Offre Globale 4</i> | | | |
|------------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|
| | OC1 | OC2 | OC3 | OC4 | OC1 | OC2 | OC3 | OC4 |
| Offre de contrat | | | | | | | | |
| Type Produit | TP1 | | TP2 | | TP1 | | TP2 | |
| Bouquet Service | BS1 | BS2 | BS1 | BS2 | BS1 | BS2 | BS1 | BS2 |
| Garantie Service | GS1 | GS2 | GS1 | GS2 | GS1 | GS2 | GS1 | GS2 |
| Durée Contrat | DC1 | | DC2 | | DC2 | | DC1 | |

Tableau 30 Modalités pour le facteur Offre globale

3.2 Facteurs d'incertitudes

Lors d'une transition vers une Offre PSS, la définition de l'offre, l'étude du marché, la connaissance de la sensibilité au service, de l'attente et des besoins en usage de ses clients sont

primordiaux pour la réussite de cette transition. Notre démarche de simulation permet d'étudier l'impact de certains paramètres du système d'usage sur la performance du système productif. Nous allons ainsi pouvoir étudier certaines variables dont nous n'avons pas une connaissance fine. Ces variables seront considérées comme facteurs d'incertitude. L'interaction entre les facteurs industriels (offre de contrat, gestion des ressources) et les sources d'incertitudes dans le modèle de simulation permettra d'étudier l'impact de ces facteurs d'incertitudes sur la performance de l'entreprise d'une part, et d'autre part voir la robustesse de certaines configurations soumises à ces facteurs d'incertitudes. Nous allons considérer trois facteurs d'incertitudes (cités dans l'instanciation du cas ENVIE- Chapitre 7) liés au système d'usage. Il s'agit de la répartition des clients selon a) leur exigence pour la qualité de Service/ Qualité Produit des offres PSS, b) leur sensibilité pour la qualité de service et enfin c) selon le profil d'usage.

3.2.1 Répartition de la clientèle selon l'Exigence Qualité du service/Qualité du produit

L'étude de l'incertitude sur la répartition de la clientèle sur les profils commerciaux désignés par la variable EQSP (Exigence Qualité du Service/Qualité du Produit) permet d'analyser la sensibilité de la performance d'une configuration donnée de l'entreprise. Nous considérons deux niveaux à analyser, $EQSP_L$ (Niveau EQSP bas en considérant que les clients sont beaucoup plus de type Particulier non exigeant) et $EQSP_H$ (Niveau EQSP haut en considérant que les clients sont beaucoup plus de type Professionnel Exigeant) (Tableau 31).

| | $EQSP_L$ | $EQSP_H$ |
|----------|----------|----------|
| $EQSP_1$ | 0,2 | 0,6 |
| $EQSP_2$ | 0,2 | 0,2 |
| $EQSP_3$ | 0,6 | 0,2 |

Tableau 31 Profil commercial

3.2.2 Répartition de la clientèle selon la Sensibilité pour la Qualité de service

Ce facteur vise à étudier la sensibilité du système vis-à-vis des évolutions possibles de la demande en termes de niveau d'exigence, par exemple pour représenter de possibles tendances des clients à se tourner vers un niveau de service élevé (défini ici, en termes de garantie de service et de bouquet de services). Ce facteur nous permet d'analyser la sensibilité de la performance de l'entreprise à différentes configurations des exigences en service des clients (Tableau 32), mais aussi d'étudier la robustesse des règles de gestion définies auparavant.

| <i>Niveau 1 : Exigence en service 1</i> | | | | |
|-----------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Offre PSS | OC1 | OC2 | OC3 | OC4 |
| Profil commercial : (Vcom1 , Vcom2) | | | | |
| $(S_L, EQSP_1)$ | 0,5 | 0,1 | 0,3 | 0,1 |
| $(S_L, EQSP_2)$ | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| $(S_L, EQSP_3)$ | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,5 |
| <i>Niveau 2 : Exigence en service 2</i> | | | | |
| Offre PSS | OC1 | OC2 | OC3 | OC4 |
| Profil commercial : (Vcom1 , Vcom2) | | | | |
| $(S_H, EQSP_1)$ | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,3 |
| $(S_H, EQSP_2)$ | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,3 |
| $(S_H, EQSP_3)$ | 0,2 | 0,1 | 0,5 | 0,2 |

Tableau 32 Exigences en qualité de service

3.2.3 Répartition de la clientèle selon le Profil d'usage

Ce facteur nous permet d'étudier la sensibilité de la répartition des clients sur le profil d'usage et donc leur besoin et comportement en usage sur la performance d'une configuration donnée. En effet une connaissance et modélisation fine de la part de l'entreprise de cette répartition est quelque chose de difficile à évaluer. D'où l'importance d'observer la performance d'une configuration soumise à différentes répartitions sur le profil d'usage. Nous considérons deux configurations distinctes pour ce facteur données dans le Tableau 33. Par ailleurs, des implications sur la définition du contrat en termes juridiques peuvent être tirées à la suite de l'analyse de ce facteur (comme par exemple : clause d'entretien pour certaines offres...).

| Facteur | <i>Modalité 1</i> | <i>Modalité 2</i> |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| β_1 (Pusa1) | 0,1 | 0,4 |
| β_2 (Pusa2) | 0,1 | 0,4 |
| β_3 (Pusa3) | 0,4 | 0,1 |
| β_4 (Pusa4) | 0,4 | 0,1 |

Tableau 33 Profil d'usage

3.3 Indicateurs de performance

L'aide à la décision porte sur la régulation de la performance industrielle au niveau opérationnel, et nous considérons donc des indicateurs relatifs à cet objectif. L'étude vise à mettre en exergue des risques liés à la gestion industrielle opérationnelle d'une entreprise orientée PSS (nous ne mesurons pas d'indicateurs économiques plus agrégés pour l'entreprise). Nous nous intéressons à l'interaction entre la qualité de service fourni (indicateurs sur les activités de services) et la performance industrielle (indicateurs industriels).

Les métiers de services reposent à la fois sur la disponibilité du personnel et sur la qualité comportementale du personnel en contact direct avec le client. Le client recherche la qualité dans résultat du service rendu et dans la manière dont ce service a été rendu. Nous n'étudions pas la situation de contact entre le client et le personnel. Nous allons considérer donc qu'un client est satisfait si la prestation de services a été effectuée selon les termes du contrat (délai d'intervention respecté). Dans les indicateurs de performance liés à la qualité de service, nous distinguons deux notions de qualité de service qui sont,

- d'une part le taux de satisfaction de service instantanée à la signature du contrat (Acte de vente classique ou PSS), qui dépend fortement de la disponibilité d'une (des) ressources et du (des) produits (stock disponible) pour servir le client (pour chaque type de vente, ces deux indicateurs seront notés I_1 et I_2);
- et d'autre part la qualité de service sur la durée globale du cycle d'usage de la relation client-fournisseur (contrat PSS et les clients ayant choisi des services additionnels dans le cas de la vente classique), qui dépend fortement de la disponibilité des ressources pour répondre aux différentes sollicitations de service qui émanent du système d'usage. Nous distinguons deux types d'indicateurs pour la qualité de service sur le cycle d'usage,
 - des indicateurs de taux de services satisfait (I_3 et I_4 respectivement pour le service sur un produit vendu ou pour un produit en PSS),

- et des indicateurs de temps moyen d'attente pour les différents services (Vente et PSS) ($I_5, I_6, I_7, I_8, I_9, I_{10}, I_{11}$). Par ailleurs, nous soulignons que pour le cas des temps moyen d'attente pour les services vente nous utilisons également le décalage (la différence) entre le temps moyen d'attente des services après transition et le temps moyen d'attente initial (cas vente exclusive) (I'_5, I'_6, I'_7) : grâce à cet indicateur, nous souhaitons mesurer la perte (ou le gain) de performance après transition.

De plus, nous définissons des indicateurs liés à l'activité industrielle (production). Nous considérons l'indicateur de la charge globale effectuée pour chaque compétence (I_{12}), l'indicateur des stocks moyens en produits finis (I_{13}), l'indicateur de taux d'utilisation des ressources (I_{14}) et l'indicateur du taux d'utilisation des ressources (I_{15}).

Finalement, nous définissons un indicateur de performance lié à la relation client-fournisseur et qui lie la performance de l'entreprise à la satisfaction du client ; il s'agit de l'indicateur de nombre moyen de retards de livraison et d'intervention (pour le cas PSS) (I_{16}, I_{17}). L'ensemble de ses indicateurs sont résumés dans le Tableau 34

| Type d'indicateur | Désignation | Nom |
|--------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Indicateur de satisfaction de service instantané | I ₁ | Taux de satisfaction de service à la signature Vente- |
| | I ₂ | Taux de satisfaction de service à la signature Cas PSS- |
| Indicateur de satisfaction de service à l'usage | I ₃ | Taux de satisfaction de service à l'usage Cas Vente- |
| | I ₄ | Taux de satisfaction de service à l'usage -Cas PSS- |
| Indicateur de temps d'attente des services | I ₅ | Temps d'attente livraison -Cas vente- |
| | I ₆ | Temps d'attente Intervention -Cas vente- |
| | I ₇ | Temps d'attente collecte |
| | P ₅ | Décalage avant et après transition du temps d'attente livraison – Cas vente - |
| | P ₆ | Décalage avant et après transition du temps d'attente intervention – Cas vente - |
| | P ₇ | Décalage avant et après transition du temps d'attente collecte |
| | I ₈ | Temps d'attente Intervention Curative -PSS- |
| | I ₉ | Temps d'attente Intervention Préventive -PSS- |
| | I ₁₀ | Temps d'attente Livraison -PSS- |
| | I ₁₁ | Temps d'attente récupération |
| | Indicateurs industriels | I ₁₂ |
| I ₁₃ | | Stock moyen de produits finis |
| I ₁₄ | | Taux satisfaction OF/OD |
| I ₁₅ | | Taux d'utilisation des ressources |
| Indicateur de la relation client/fournisseur | I ₁₆ | Retard livraison PSS |
| | I ₁₇ | Retard Intervention PSS |

Tableau 34 Indicateurs de performance

3.4 Mise en œuvre du plan d'expérimentation

L'étude par simulation vise à paramétrer différentes configurations alternatives du système d'usage d'une part et du système productif d'autre part, dans le but d'analyser les influences réciproques des leviers de gestion relevant de l'un et de l'autre.

Grâce à la spécification des facteurs de décision et des facteurs d'incertitude et en prenant en compte les différentes modalités de ces variables de configuration, le plan d'expérience ainsi constitué regroupe 160 scénarios. Nous avons procédé à une automatisation de la simulation en couplant le modèle de simulation SIMAN-ARENA à un fichier EXCEL à travers un module VBA qui permet d'actualiser les OF, OA et OD et lancer la simulation pour un scénario donné.

Notre démarche de simulation peut être résumée en 3 étapes (Figure 69) :

- Instanciation du système industriel et du système d'usage
- Instanciation des facteurs de l'expérience (à travers un module VBA)
- Lancement et récupération des données de simulation sur Arena vers un fichier Excel

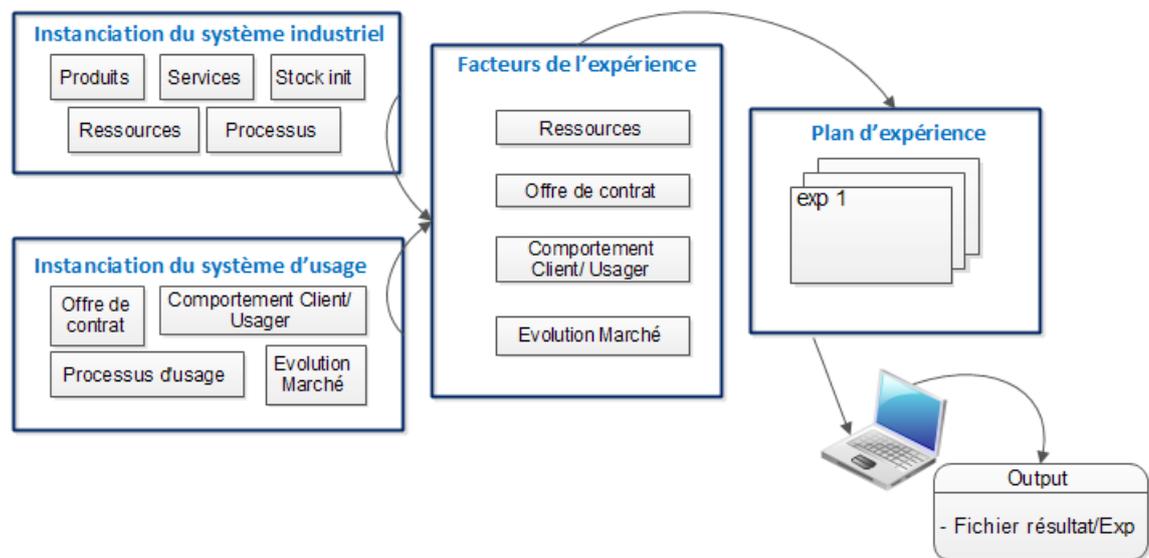


Figure 69 Démarche de simulation

4 Analyse et Interprétation des résultats

4.1 Démarche d'analyse

Les premiers résultats analysent les différentes configurations définies par les leviers de décisions que nous avons présentés précédemment. Ainsi une configuration est la définition simultanée de l'offre globale de l'entreprise, des degrés de compétences des ressources et de la règle d'affectation de celles-ci sur les activités de production et de services. Nous avons 20 configurations⁵ différentes pour l'entreprise, chaque configuration est soumise à une combinaison de sources d'incertitudes, nous en avons 8 en tout, ce qui donne au total 160 scénarios de comportement. Le but de l'étude de simulation est d'analyser les performances opérationnelles de différentes configurations. Notre démarche d'analyse répond à deux besoins complémentaires :

⁵ Dans le cas de la spécialisation des ressources, la règle d'affectation de celles-ci sur les activités de production et de service n'est plus valable. (2 cas de polyvalence * 2 cas de règles d'affectations * 4 offres de contrat + 1 spécialisation* 4 offres de contrat = 20 configurations)

- ***Besoin d'analyse de l'impact des leviers de décision*** : dans ce premier type d'analyse, nous considérons que le décideur subit les facteurs d'incertitude, en intervenant uniquement sur les leviers de décision a posteriori, pour gérer au mieux la performance finale. Dans ce contexte décisionnel, l'ensemble des 160 scénarios possibles sont considérés (c'est-à-dire la totalité des scénarios obtenus en combinant d'une part les 20 configurations industrielles et, d'autre part, les 8 facteurs d'incertitude). Dans ce type d'analyse, le décideur se positionne donc dans une logique d'étude large de l'ensemble des opportunités, et de compréhension des leviers industriels permettant d'améliorer la performance, dans certains contextes. En considérant la totalité de ces scénarios, l'analyse présente également l'avantage de permettre l'étude des interactions entre les variables propres au système d'usage (notamment les facteurs d'incertitude) et les variables propres au système industriel. La réponse à ce besoin se fera en s'appuyant sur
 - (i) l'outil d'Analyse en Composantes Principale (ACP). Cet outil nous permettra de construire des patterns et groupes de comportements similaires parmi les scénarios, d'étudier l'interaction entre variables du système productif et variables du système d'usage, d'identifier des phénomènes ou scénarios à analyser de manière approfondie et
 - (ii) sur une analyse graphique approfondie et détaillée de sous-ensembles de scénarios correspondant à des comportements de performances similaires ou particulières.
- ***Besoin d'analyse de la robustesse des configurations face aux facteurs d'incertitude*** : ce second type d'analyse est complémentaire au premier niveau d'analyse et il est fondé sur la notion de robustesse face à l'incertain, et correspond à une logique distincte du décideur : il s'agit dorénavant d'une logique de sélection des configurations industrielles adaptées pour résister aux incertitudes, d'une part, par élimination des configurations peu résilientes à l'incertain et, d'autre part, par évaluation comparative multicritère des meilleures configurations restantes. Dans cette optique, l'analyse est structurée en référence, non pas aux 160 scénarios, mais aux 20 configurations industrielles possibles : nous étudions la résilience de ces 20 configurations face aux différents facteurs d'incertitude. La réponse à ce besoin se fera en s'appuyant sur (i) une première sélection des configurations résilientes et (ii) une analyse comparative en utilisant la logique des arbres de décisions.

4.2 Analyse de l'impact des leviers de décision et de l'interaction SU-SP

L'ACP permet une description des données contenues dans un tableau individus-variables. Cette description est possible par la construction d'un nouvel espace, de dimension réduite, qui représentera au mieux la disparité des points-individus et les combinaisons de variables qui contribuent à la construction des axes factoriels. L'interprétation des axes et l'observation de la position des individus peut permettre ensuite de repérer le caractère spécifique de certains individus ou groupes d'individus.)

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été conduite en considérant que

- les individus correspondent à différentes combinaisons entre les configurations du système productif et les différentes sources d'incertitude. Les individus sont donc les 160 scénarios de simulation.
- les variables (continues) représentent une sélection des indicateurs de performance présentés en section 3.3. Les variables peuvent être de nature active (participant à la construction des axes factoriels) ou illustrative (dont l'objectif est d'aider à l'interprétation des axes et non pas à leur construction). Dans la mesure où nous essayons d'analyser l'interaction et la configuration des variables de décisions au niveau du système d'usage et du système industriel, nous retenons des variables représentatives à la fois de l'activité industrielle et de l'activité de service. Les variables actives et illustratives retenues sont :

1. Variables actives

- Taux de satisfaction acte PSS (Réponse dans un délai satisfaisant)
- Taux de satisfaction acte vente
- Taux de satisfaction des services Vente
- Taux de satisfaction des services PSS
- Stock moyen produit fini PF1
- Stock moyen produit fini PF2

2. Variables illustratives

- Taux utilisation des ressources
- Retard intervention PSS et Retards Livraison PSS
- Temps moyen d'attente pour les services (Vente et PSS)

4.2.1 Cercle de corrélation

Le cercle des corrélations (Figure 70) permet d'éclairer la signification des axes extraits par l'ACP. Le cercle présente les différentes variables (actives et illustratives). Les variables les mieux représentées par les axes sont celles qui sont proches du périmètre du cercle.

L'axe 1 représente 49% de l'inertie du nuage de point. On observe que sur la droite de l'axe 1 se présentent les valeurs de taux de satisfaction d'acte de vente, et de Stock moyen. Ces variables dépendent de la disponibilité du stock. Ainsi, nous pouvons conclure que ce facteur (axe1) exprime la satisfaction des actes de ventes (qui s'améliore en allant vers la gauche du cercle de corrélation) et il est directement relié au niveau de stock des produits finis. En effet, nous avons défini ce taux de satisfaction, comme la satisfaction de service au moment de la signature du contrat (vente ou PSS), et ce taux dépend fortement de la disponibilité immédiate du produit fini dans les stocks. Par voie de conséquence, ce taux de satisfaction dépendra également de la performance de l'activité de production, qui génère elle-même le stock de produits finis.

L'axe 2 représente 35% de l'inertie totale du nuage de points initial. Sur cet axe sont présentes les valeurs liées au taux de satisfaction de service tout au long de l'usage. De plus, concernant les variables illustratives, on retrouve sur cet axe les temps moyens d'attente pour les services, mais aussi le taux d'utilisation des ressources qui sont différenciés sur le cercle de corrélation par les ressources pouvant faire du service et celles qui ne peuvent pas en effectuer. Cet axe représente

donc la performance en service tout au long du cycle de l'usage, une performance fortement dépendante des variables de décision liées au système productif (compétence des ressources et règles d'affectation de celles-ci sur les activités de production et les activités de service).

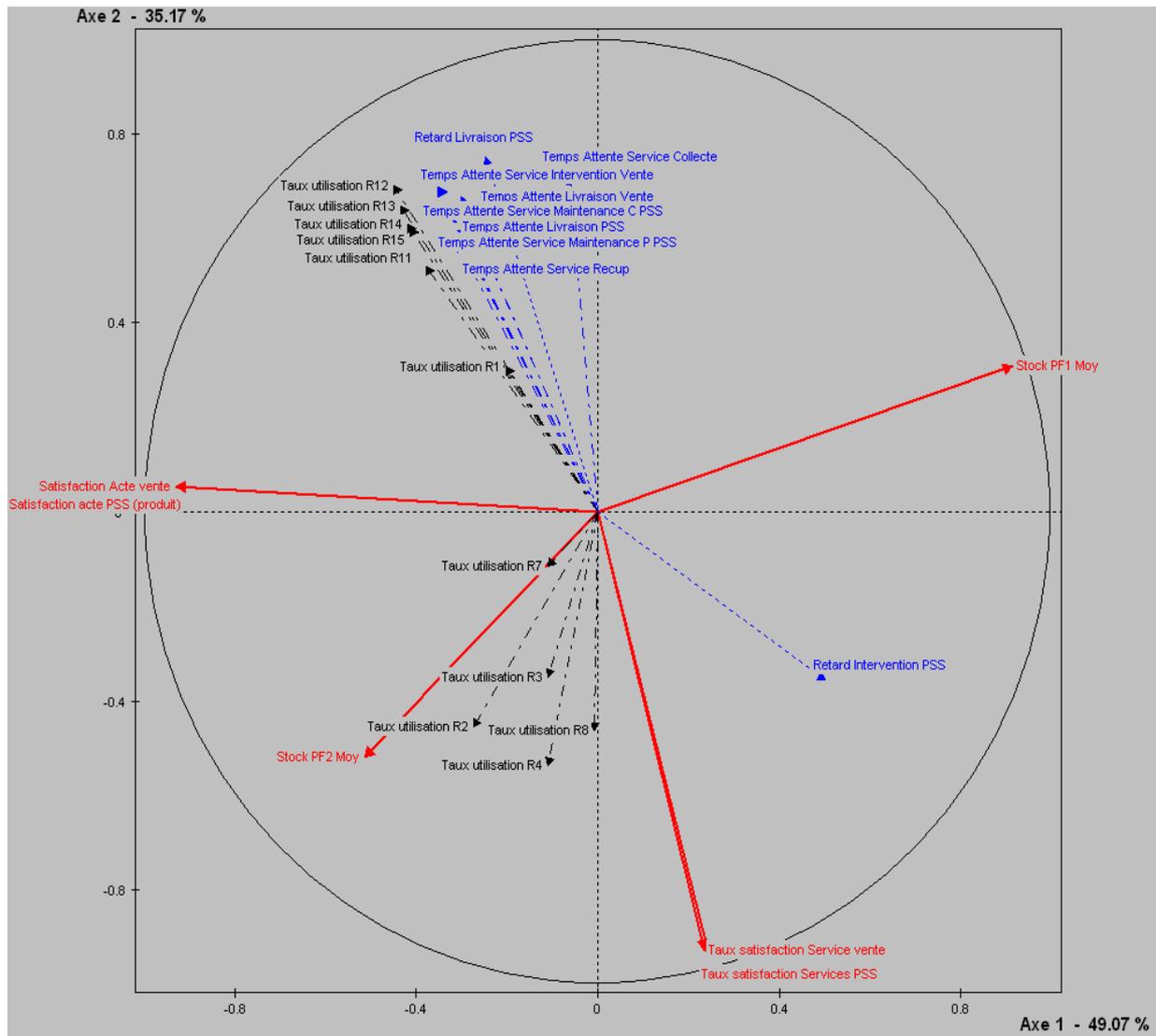


Figure 70 Cercle de corrélation

Ces deux axes factoriels représentent 84% de l'inertie du nuage de point initial, c'est-à-dire que les distances entre individus dans l'espace d'origine sont (globalement) reconstituées à 84% sur le plan. L'axe 1 représente la performance des activités de production directement liées à la disponibilité des stocks (et donc la satisfaction des actes de vente), et l'axe 2 représente la performance des activités de service tout au long de l'usage, qui sont directement liées à la configuration des ressources (compétences et règle d'affectation).

4.2.2 Le plan factoriel

Le plan factoriel obtenu de l'ACP, réalisée sur 160 scénarios, est présenté sur la Figure 71.

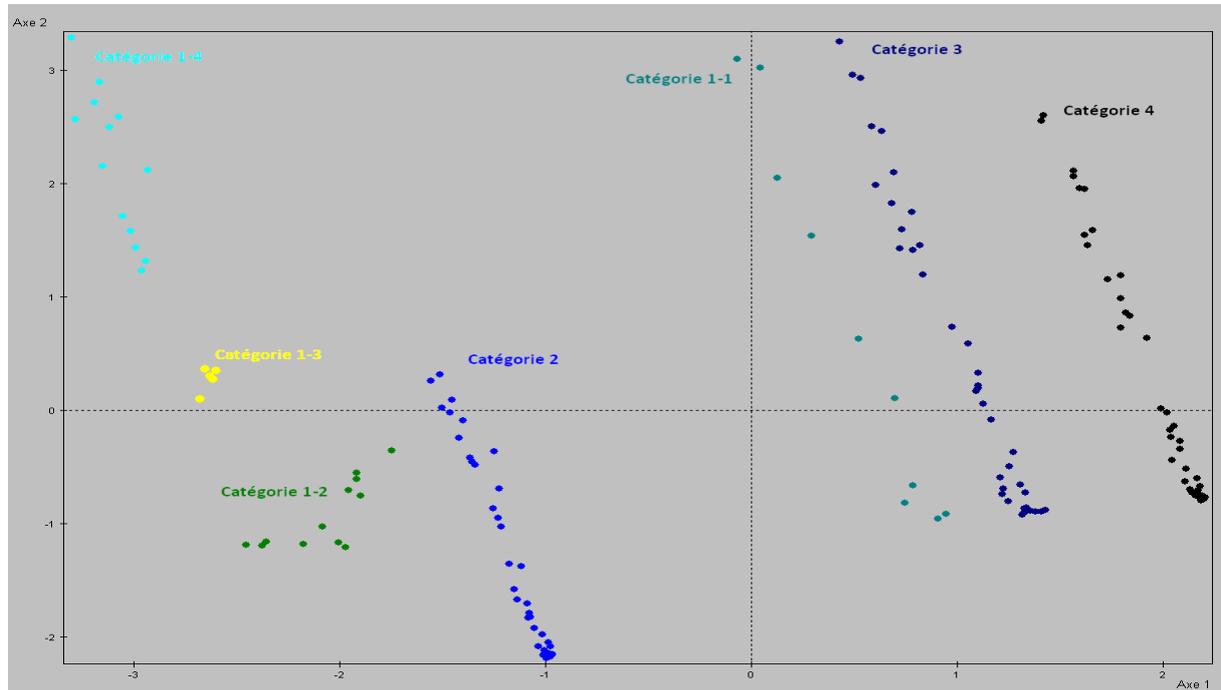


Figure 71 Plan factoriel axe1-axe2

Une première analyse globale, structurée en trois points, a été menée :

(i) Analyse de la forme : l'ACP a permis de constituer des catégories (groupes de scénarios) assez homogènes dans leurs formes. La forme est une ligne dont la dispersion des scénarios au niveau de l'axe 1 (performance industrielle en termes de satisfaction d'actes de vente et de stocks moyens) est beaucoup moins importante que la dispersion des scénarios au niveau de l'axe 2 (performance des activités de services). Notons une exception par rapport à ces dispersions pour les catégories 1.2 et 1.3.

(ii) Caractérisation des groupes (en catégories) : afin de caractériser chaque catégorie, nous nous appuyons sur les différences entre ces scénarios en termes de leviers de décisions et sources d'incertitudes le définissant et sur une analyse des différents scénarios présents dans chaque catégorie (Tableau 35).

| Catégories | Leviers de décision communs | Sources d'incertitudes communes | Impact sur la demande en Produit | |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-----|
| | | | PF2 ⁶ | PF1 |
| Catégorie 1-1 | Gestion des capacités : Polyvalence et spécialisation Priorité service Priorité production Gestion de l'offre : Offre Globale 2 | | | |
| Catégorie 1-2 | Gestion des capacités : Polyvalence 1 et 2 Priorité service Gestion de l'offre : Offre Globale 2 | Sens1 Répart_Pcom1 | 60% | 40% |
| Catégorie 1-3 | Gestion des capacités : Polyvalence 2 priorité production Gestion de l'offre : Offre Globale 2 | Répart_Pusa1 Répart_Pusa2 | | |
| Catégorie 1-4 | Gestion des capacités : Polyvalence 1 et spécialisation priorité production Gestion de l'offre : Offre Globale 2 | | | |
| Catégorie 2 | Gestion des capacités : Polyvalence et spécialisation Priorité service et priorité production Gestion de l'offre : Offre Globale 1, 2, 3 et 4 | Sens1 Répart_Pcom2 Répart_Pusa1 Répart_Pusa2 | 48% | 52% |
| Catégorie 3 | Gestion des capacités : Polyvalence et spécialisation Priorité service et priorité production Gestion de l'offre : Offre Globale 1, 2, 3 et 4 | Sens2 Répart_Pcom1 Répart_Pusa1 Répart_Pusa2 | 36% | 64% |
| Catégorie 4 | Gestion des capacités : Polyvalence et spécialisation Priorité service et priorité production Gestion de l'offre : Offre Globale 1, 2, 3 et 4 | Sens2 Répart_Pcom2 Répart_Pusa1 Répart_Pusa2 | 28% | 72% |

Tableau 35 Description des différentes catégories

(ii) Remarques sur les différentes catégories : le plan factoriel définit 4 catégories de comportement,

- les catégories 2, 3 et 4 regroupent, chacune, un ensemble de scénarios homogènes sur le plan factoriel. Ces catégories dépendent des modalités prises pour les facteurs de décisions et celles prises par les facteurs d'incertitudes. Autrement dit, pour les mêmes sources d'incertitudes et les mêmes leviers de décisions, nous avons un comportement similaire en termes de performance à l'intérieur de chaque catégorie.

⁶ Les combinaisons des sources d'incertitudes affectent le système productif, au travers la demande en produit ainsi que la demande en service. En effet, selon la sensibilité au service du client, la répartition des clients sur les différentes offres et la répartition des clients sur les profils d'usage, nous aurons un impact sur la demande en produits finis (PF1 et PF2) et par conséquent sur les sollicitations de services.

- pour la catégorie 1 (avec 1-1, 1-2, 1-3 et 1-4), seuls les leviers de décision apportent une différenciation au niveau du comportement des scénarios sur le plan factoriel, d'où la constitution de « sous-catégories ».

Quelques premières conclusions sur l'analyse globale des résultats de l'ACP peuvent être déjà soulignées. En effet, nous remarquons que les combinaisons des sources d'incertitudes impactent d'une manière considérable la disponibilité des stocks représentée par l'axe 1 (dispersion sur l'axe 1 inter-catégorie). Par ailleurs, une dispersion moins importante de la performance sur l'axe 1 est à noter à l'intérieur de chaque catégorie (intra-catégorie). De plus, la dispersion sur l'axe 2 (*performance des activités de services*) est plus importante pour les différentes catégories. Autrement dit, il existe un fort impact à la fois des sources d'incertitudes et des leviers de décision sur la performance des activités de services.

4.2.2.1 Analyse de la catégorie 1

Dans le cas de la catégorie 1, les leviers de décision ont un effet considérable sur la performance des activités de production et sur la performance des activités de services. La Figure 72 et la Figure 73 mettent en évidence une augmentation de la charge en service et en remanufacturing dans une configuration du système productif où les ressources sont polyvalentes et où la priorité d'affectation est donnée aux activités de services⁷ ; cela s'explique par une meilleure disponibilité des ressources humaines capables d'effectuer les activités de services et, par ailleurs, capables de récupérer les produits en fin de contrat et donc un volume plus grand de produits à remanufacturer.

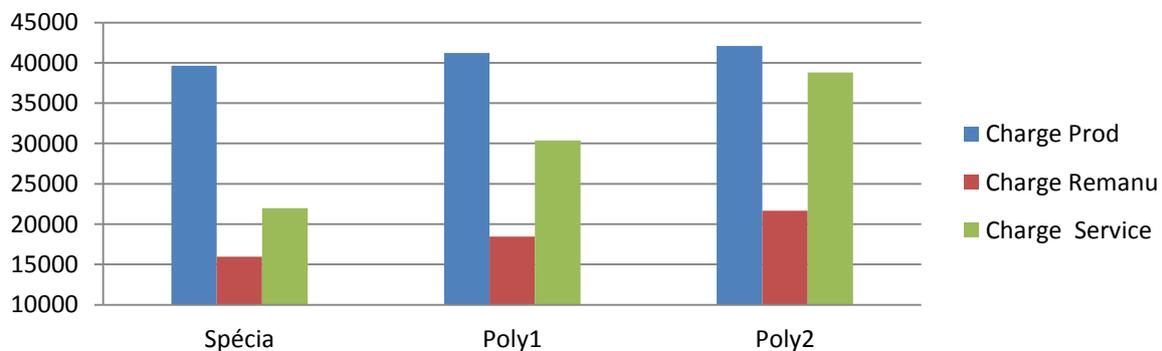


Figure 72 Impact de la polyvalence sur la charge moyenne /compétence

⁷ Les indicateurs correspondent à la moyenne sur l'ensemble des scénarios de la catégorie 1 et en différenciant les compétences des ressources (Figure 73) et la règle d'affectation (Figure 74).

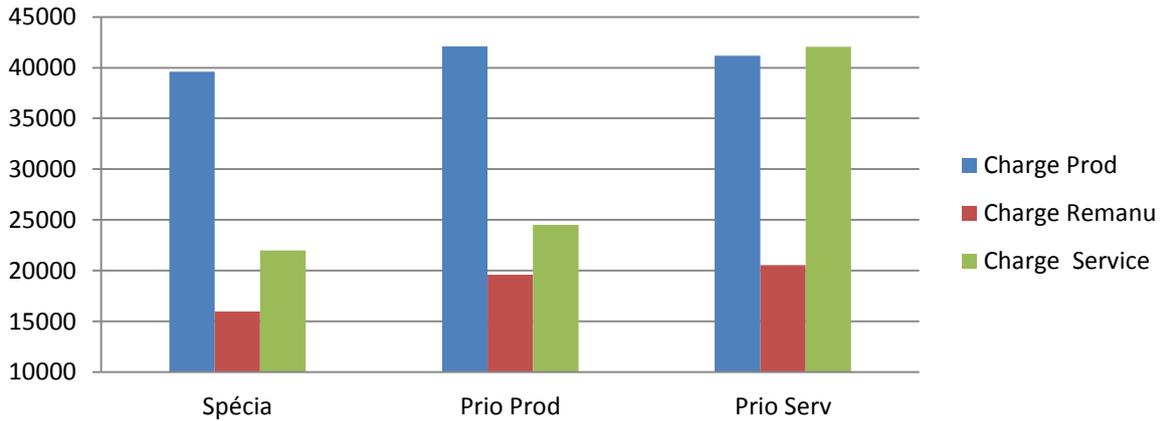


Figure 73 Impact de la règle d'affectation sur la charge moyenne /compétence

Au niveau des indicateurs de l'activité de service, la Figure 74 et la Figure 75 nous montrent une amélioration des taux de services (vente et PSS) en augmentant la polyvalence et en donnant la priorité aux activités de services. Ceci est dû principalement à une meilleure disponibilité des ressources de services et une certaine flexibilité offerte par les ressources polyvalentes capables d'effectuer le service. Néanmoins la Figure 77 et la Figure 77 nous mettent en garde sur une possible dégradation du taux de satisfaction de l'acte de vente, si l'on fait le choix de cette stratégie de polyvalence et priorité au service. En effet, cette stratégie de flexibilité met la priorité sur le front office, mais peut dégrader la performance du système de fabrication (Back office). Cette dégradation est engendrée par des OF ou OD qui ne seront pas satisfaits à temps, induisant ainsi des ruptures de stocks synonymes de pertes de vente.

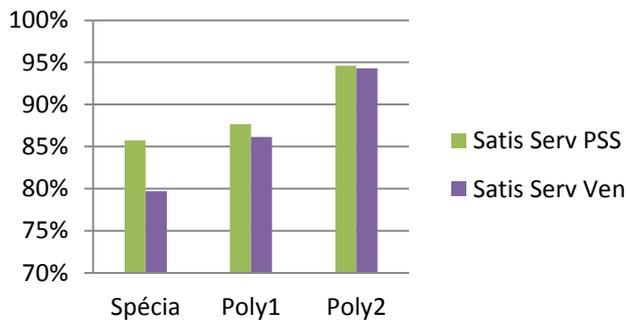


Figure 74 Impact de la polyvalence sur la satisfaction service

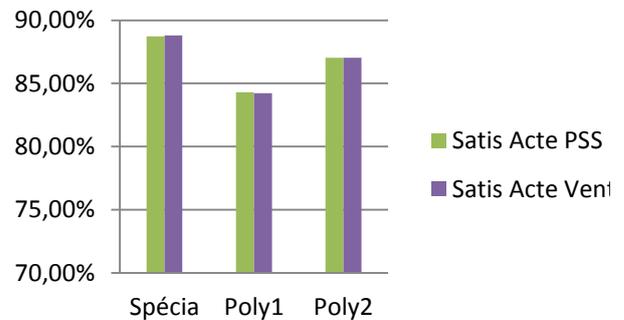


Figure 75 Impact de la polyvalence sur la satisfaction des actes de vente (PSS)

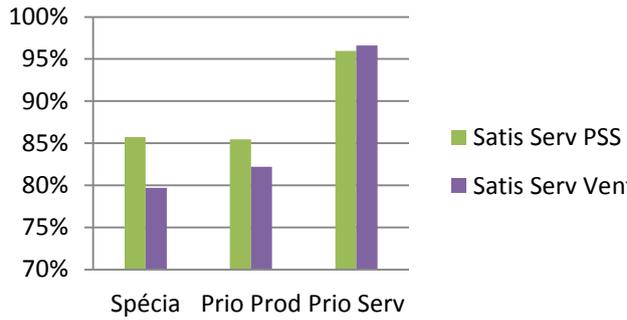


Figure 76 Impact de la règle d'affectation sur la satisfaction service



Figure 77 Impact de la règle d'affectation sur la satisfaction des actes de vente (PSS)

Par ailleurs, la satisfaction des actes de ventes dans le cas d'une offre globale OG2 (toutes les offres ont une durée de deux ans quelques soit le type de produit) est nettement détériorée (Figure 79). Ceci s'explique par le fait que les contrats de durée deux ans ont un effet direct sur la production des produits PF2. En effet, la récupération des produits est faite après deux ans d'usage. Ceci implique que l'entreprise n'aura, pendant deux ans, qu'une seule source de produits usagés, ceux qui correspondent à la collecte. Cela affectera sa performance au niveau des actes de vente. Ainsi, nous aurons des substitutions des composants nécessaires à la production de PF2 (A' B' et C') par des composants neufs (A, B, C) importants pour cette configuration et une diminution de stock en composants neufs, qui affectera le stock moyen de PF1 ainsi que le stock moyen PF2 (Figure 80 ellipse verte).

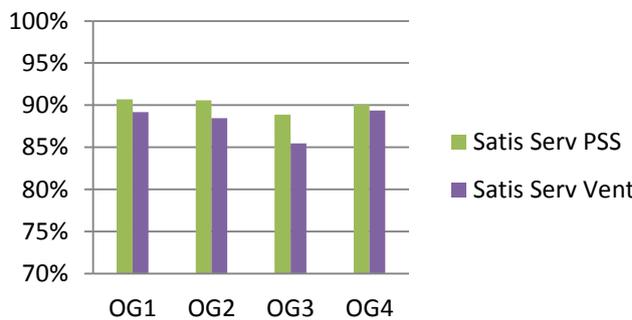


Figure 78 Impact de l'Offre Globale sur la satisfaction service

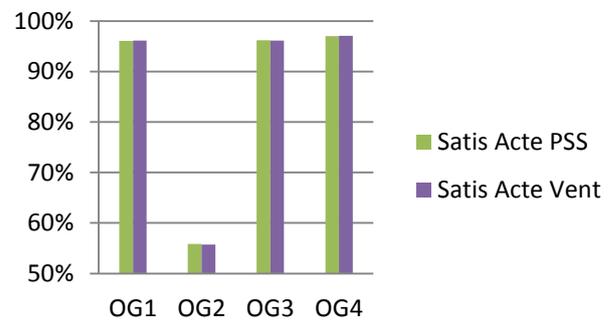


Figure 79 Impact de l'Offre Globale sur la satisfaction des acte vente (PSS)

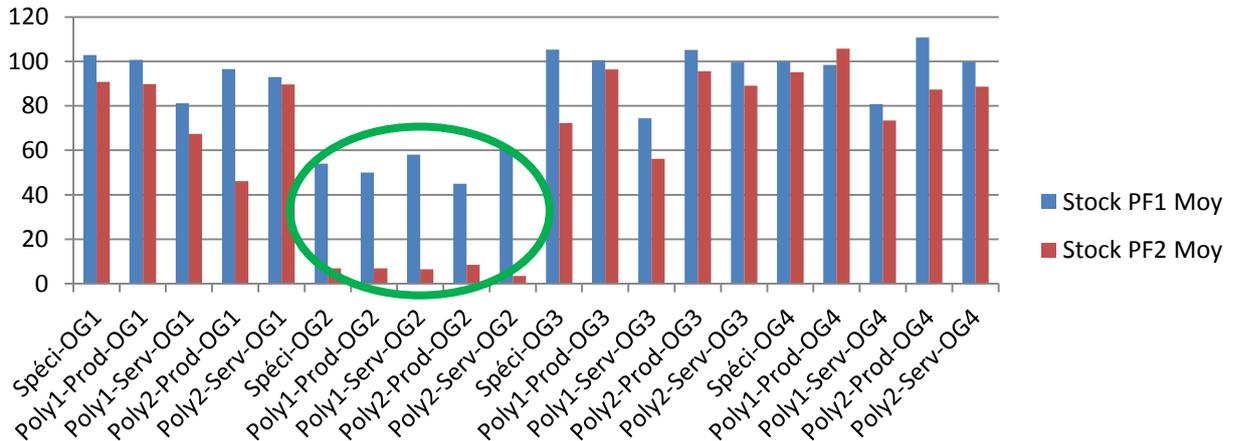


Figure 80 Stock Moyen PF1/PF2

Dans le cas de la catégorie 1, l'impact des leviers de décision sur la performance de l'entreprise (performance industrielle et des activités de service) est visible sur le plan factoriel. En effet, des sous-catégories ont été identifiées (catégorie 1-1, 1-2, 1-3 et 1-4). Ces sous catégories agissent d'une manière différente aux leviers de décisions :

1. La catégorie 1-1 souligne l'impact de la durée de contrat longue (2ans) sur la performance des activités de production (disponibilité des stocks) et sur la performance des activités de services.
 - Nous soulignons sa faible dispersion de la performance sur l'axe1 (performance des activités de production). En effet la meilleure performance (avec **56%** de satisfaction d'acte de vente) relative à cet axe correspond à la configuration avec une Polyvalence 1 (polyvalence partielle), une priorité sur les activités de production et une offre globale de type OG2. Et la performance, relativement, la moins bonne (avec **55%** de satisfaction d'acte de vente) correspond à une configuration avec Polyvalence 2 (polyvalence totale), priorité aux activités de services et une offre globale de type OG2. Ainsi, et d'une manière comparative avec d'autres catégories, une offre globale avec des durées de contrat longues détériore d'une manière drastique la performance des activités de production (entre 55% et 56% de satisfaction d'acte de vente).
 - Par ailleurs, la dispersion au niveau de l'axe 2 (performance des activités de services) est plus large. Ainsi, les leviers de décisions auront un impact visible sur la performance des activités de services tout au long de l'usage. Au sein de la catégorie 1-1, la meilleure performance (avec **99%** de satisfaction des services vente) est la même que celle de la configuration qui a la pire performance sur l'axe 1 à savoir la configuration avec une polyvalence 2, une priorité aux services et une offre globale de type OG2. La pire performance (avec **74%** de satisfaction des services vente) correspond à la meilleure configuration sur l'axe 1, c'est-à-dire la configuration avec une Polyvalence 1, une priorité sur les activités de production et une offre globale de type OG2. Ainsi, un effet antagoniste des leviers de décision apparaît sur la performance de l'entreprise. La performance des activités de services tout au long de l'usage se voit améliorer grâce à la règle d'affectation sur les services, mais cette règle d'affectation risque de détériorer la performance des activités de production.

2. La catégorie 1-2 souligne la proximité de performance entre les configurations avec polyvalence 1 et 2, priorité au service avec les offres globales OG1, OG3 et OG4. Dans cette catégorie, le taux de satisfaction des services (vente et PSS) est au moins égal à 93% et le taux de satisfaction des actes de vente (cas Vente et cas PSS) est au moins égal à 85%. Par ailleurs, il est intéressant de noter sur cette catégorie, que les performances pour une polyvalence 1 et polyvalence 2 sont, dans le contexte d'incertitude liées à cette catégorie, similaires et proches. Cela veut dire que l'entreprise n'aura pas besoin d'avoir une polyvalence 2 (donc plus de formation aux activités de services) pour avoir une performance semblable, au cas où elle les formerait.
3. De la même manière que la catégorie 1-2, la catégorie 1-3 souligne la proximité de performance entre les configurations avec polyvalence 2, priorité aux activités de production et une offre globale OG1, OG3 et OG4. Dans cette configuration, nous avons une bonne performance pour la disponibilité des stocks et la satisfaction des services (90% à 99%).
4. La catégorie 1-4 présente les configurations avec une polyvalence de type 1 avec règle d'affectation sur les activités de production ainsi que les configurations avec une spécialisation des ressources et une offre de contrat de type OG1, OG3 et OG4. Ces configurations présentent une performance des activités de production qui n'est pas fortement dispersée (sur l'axe 1) tandis que la performance sur les activités de services tout au long du cycle d'usage (taux satisfaction des services) est dispersée, allant d'un taux de satisfaction de service vente (72%) (sur une configuration avec une polyvalence Poly1, une priorité d'affectation sur les activités de production et une offre globale de type OG3) vers la meilleure configuration avec un taux de satisfaction de services (84%) (sur une configuration avec une spécialisation des ressources et une offre globale de type OG4). Ainsi, nous notons sur cette catégorie que la performance des activités de production est très bonne (96% à 100%). Ce qui est intéressant à retenir sur cette catégorie, c'est la présence de configuration avec une spécialisation des ressources qui ont la même performance par rapport à la disponibilité des stocks et au taux de satisfaction des services tout au long de l'usage. Cela signifie que l'entreprise, dans le contexte des sources d'incertitude de cette catégorie, peut atteindre un bon niveau de performance sans avoir recours à un investissement fort en formation.

4.2.2.2 Conclusion sur l'analyse de la catégorie 1

L'analyse de la catégorie 1, caractérisée par différentes combinaisons de sources d'incertitudes, nous éclaire sur le comportement du système productif sous différents scénarios de configuration face aux aléas considérés. En effet, dans le cas des deux premières combinaisons de facteurs d'incertitudes considérées (Sens1/Répart_Pcom1/Répart_Pusa1 et Sens1/Répart_Pcom1/Répart_Pusa2) les leviers de décision ont un effet considérable sur la performance des activités de production et des activités de services, ceci s'explique notamment par le fait que pour ces deux aléas, le dimensionnement initial répond à cette demande (Demande en PF2 = 60% de la demande totale). L'analyse nous permet de conclure que :

- Une offre globale avec de longues durées de contrat (2ans) induit une diminution de la satisfaction des activités de production (Stock moyen et donc satisfaction des actes de vente) et des activités de services (satisfaction des sollicitations de service tout au long de l'usage). Cette dégradation est due au manque de produits récupérés afin de réapprovisionner le stock en PF2 (stock moyen en PF2 très faible) qui impose de remplacer les composants et modules nécessaires à la production de PF2 par des composants et modules neufs (et donc diminution du stock moyen en PF1). Avec, par ailleurs, une augmentation des sollicitations en services.
- La « productivité » d'une action de formation à la polyvalence sera conditionnée par le bon emploi des compétences créées (règles d'affectations). En effet, si on souhaite faire de la priorité aux activités de services, alors Polyvalence1 aura une performance similaire à Polyvalence2. Par ailleurs, si on souhaite donner la priorité aux activités de production Polyvalence1 aura une performance similaire à la spécialisation des ressources.

4.2.2.3 Analyse des catégories 2, 3 et 4

Nous avons regroupé sur une même analyse les catégories 2, 3 et 4 car leur profil sur le plan factoriel est similaire. Nous allons donc analyser conjointement ces différentes catégories.

La Figure 81, la Figure 82 et la Figure 83 montrent, pour chaque catégorie, l'impact des leviers de décision (Compétence des ressources, Règle d'affectation et offre globale) sur le taux de satisfaction de vente (mesuré pour la vente classique comme pour la vente de contrats PSS), et directement relié à la performance des activités de production par l'intermédiaire de la disponibilité du stock de produits finis.

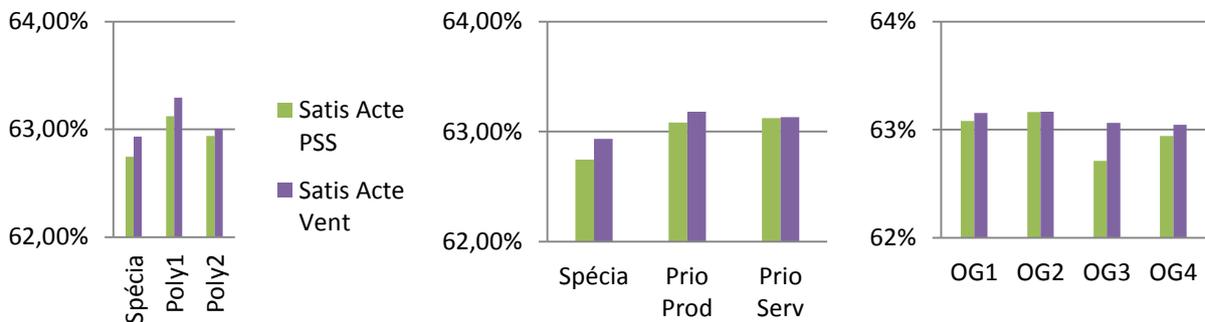


Figure 81 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des actes de vente (PSS) pour la catégorie 2

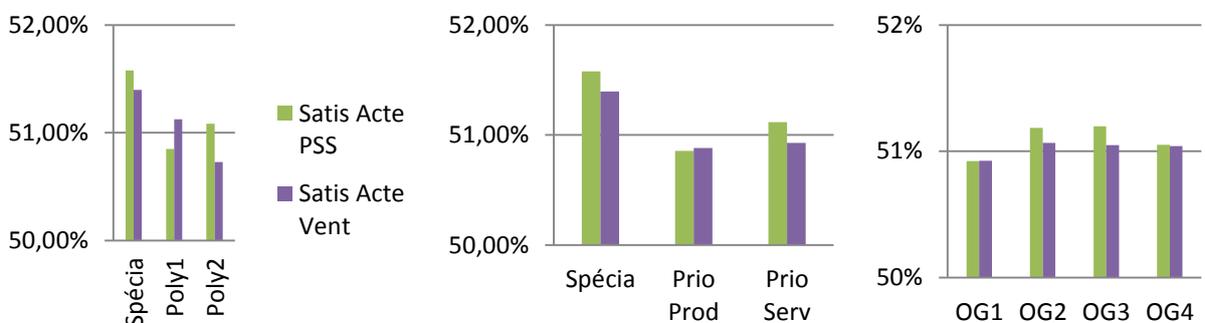


Figure 82 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des actes de vente (PSS) pour la catégorie 3

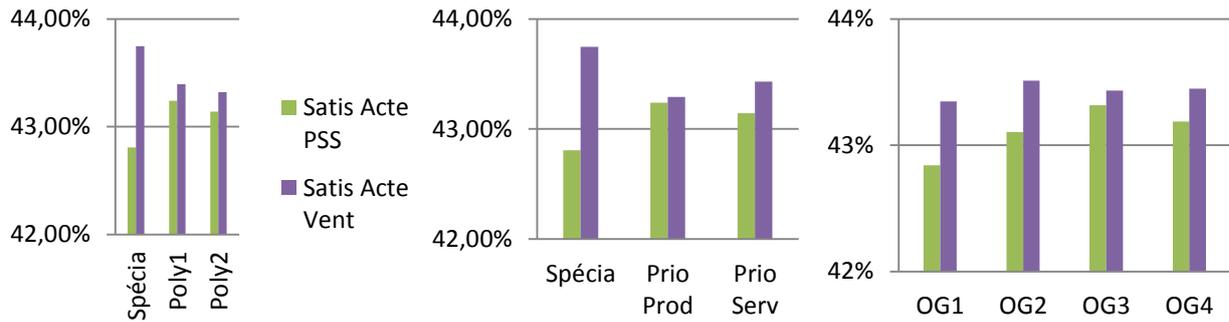


Figure 83 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des actes de vente (PSS) pour la catégorie 4

D'une manière globale, nous remarquons que pour chaque configuration l'impact des leviers de décisions est minime. Par ailleurs, nous remarquons une détérioration de la performance d'une catégorie à une autre. La pire performance est celle qui s'éloigne le plus de la demande initiale (catégorie 4) et la moins mauvaise est celle qui se rapproche le plus de la demande initiale (catégorie 2). Ce résultat est justifié par le fait que le dimensionnement en ressources de production a été effectué pour une demande en PF2 de 60% de la totalité de la demande. Une augmentation de celle-ci remettra en cause la capacité du système productif à répondre à la nouvelle demande.

Concernant la performance des activités de services (taux de satisfaction des services) (la Figure 84, la Figure 85 et la Figure 86). D'une manière globale, nous remarquons que pour chaque catégorie, l'impact des leviers de décisions relatives au système productif est notable : la polyvalence et la règle d'affectation des ressources sur les activités de service améliorent le taux de satisfaction des services. Par ailleurs, nous remarquons un impact minime de l'offre globale sur la performance des activités de service dans le cas de la catégorie 2 (qui ne s'éloigne pas trop de la catégorie 1 en termes de perturbation de la demande). Pour les catégories 3 et 4, l'offre globale influe sur la performance des activités de services. Ainsi, nous remarquons que la meilleure configuration est celle qui minimise la demande en service. En effet, puisque les aléas affectent la demande en PF2 et que l'offre globale est liée au type de produit comme nous l'avons présenté dans le chapitre 7, une plus grande demande en produits PF2 induit un plus grand nombre de demandes en maintenance (puisque les produits PF2 sont plus « sensibles » à l'usage et ont un taux de panne moyen plus important que les produits PF1). Ceci explique la détérioration de la performance pour les cas OG2 (Durée 2 ans pour PF1 comme pour PF2) et OG3 (Durée 1 an pour PF1 et 2 ans pour PF2). L'offre OG4 correspondant à une durée de 2 ans sur PF1 mais seulement de 1 an pour PF2 reste proche de la performance produite avec OG1.

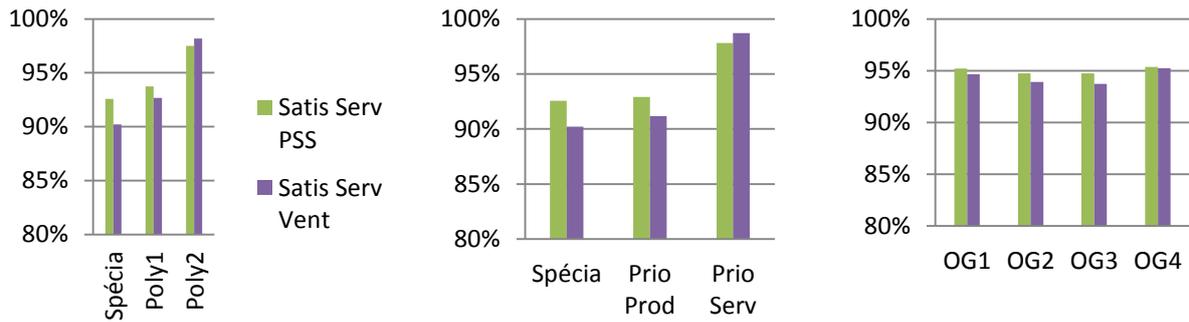


Figure 84 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des services vente (PSS) pour la catégorie 2

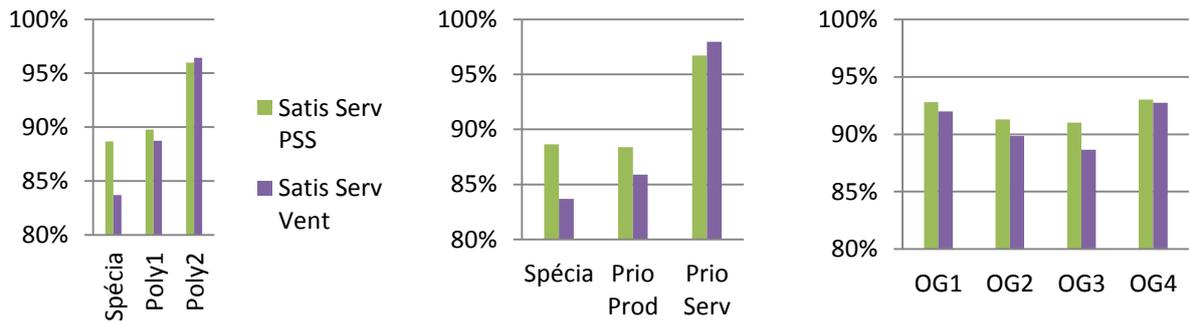


Figure 85 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des services vente (PSS) pour la catégorie 3



Figure 86 Impact des leviers de décision sur la satisfaction des services vente (PSS) pour la catégorie 4

4.2.2.4 Conclusion sur l'analyse des catégories 2, 3 et 4

Le comportement du système dans le contexte d'incertitude liée aux catégories 2, 3 et 4 est semblable. En effet, le plan factoriel et les différentes analyses graphiques effectuées montrent une constance dans la façon dont réagit le système aux sollicitations du système d'usage. Quelques conclusions peuvent être tirées :

- Une diminution de la performance des activités de production et des activités de service lorsque l'entreprise est confrontée à une clientèle plus fortement sensible à la qualité de service (S_H). D'où le besoin d'intervenir sur les capacités disponibles afin de répondre correctement à des évolutions possibles vers un accroissement en demande de qualité de service ou de qualité du produit.

- Pour chaque catégorie, la spécialisation permet d’avoir une performance similaire par rapport au cas de polyvalence. L’apport de la polyvalence dans ces cas-là est dans l’amélioration des temps moyens d’attente pour les services.
- Un équilibre entre le degré de polyvalence et la règle d’affectation des ressources doit être trouvé pour permettre un équilibre entre la performance des activités de production et la performance des activités de services.

Dans le contexte industriel représenté (Cas ENVIE), les facteurs d’incertitudes liés à l’offre commerciale, et d’une manière générale, liés au système d’usage peuvent induire une dégradation de performance en satisfaction de service si les capacités industrielles ne sont pas modifiées. A capacité globale inchangée, les leviers industriels de polyvalence et de règle d’affectation permettent des régulations de performance importantes. Cependant, un équilibre doit être trouvé entre les risques de ruptures sur les stocks de produits finis disponibles et de retards sur les prestations de services.

4.3 Etude de la robustesse des configurations face à l’incertain

Les différentes configurations du système productif et de l’offre globale sont soumises à des incertitudes issues du système d’usage. Ces incertitudes ont, comme nous l’avons vu précédemment, un impact direct sur la performance de l’entreprise. Le choix d’une configuration adaptée pour réduire l’impact de l’incertain doit être appréhendé d’une manière prudente. En effet, le décideur dispose de peu de connaissances sur les sources d’incertitudes ; il est donc primordial d’avoir une méthodologie pour le choix des configurations robustes qui prennent en considération le caractère incertain du contexte dans lequel la performance a été calculée.

La démarche d’aide à la décision pour le choix d’une meilleure configuration se fera en deux étapes :

1. Présélection des configurations résilientes face aux incertitudes : cette étape va s’appuyer sur des critères décisionnels, ayant pour but d’éliminer définitivement du processus de décision des configurations possibles qui ne présenteraient pas une capacité suffisante de résilience à l’incertain. Cette étape est donc destinée à réduire l’ensemble des 20 configurations initiales (Figure 87) à un sous-ensemble de X configurations résilientes.

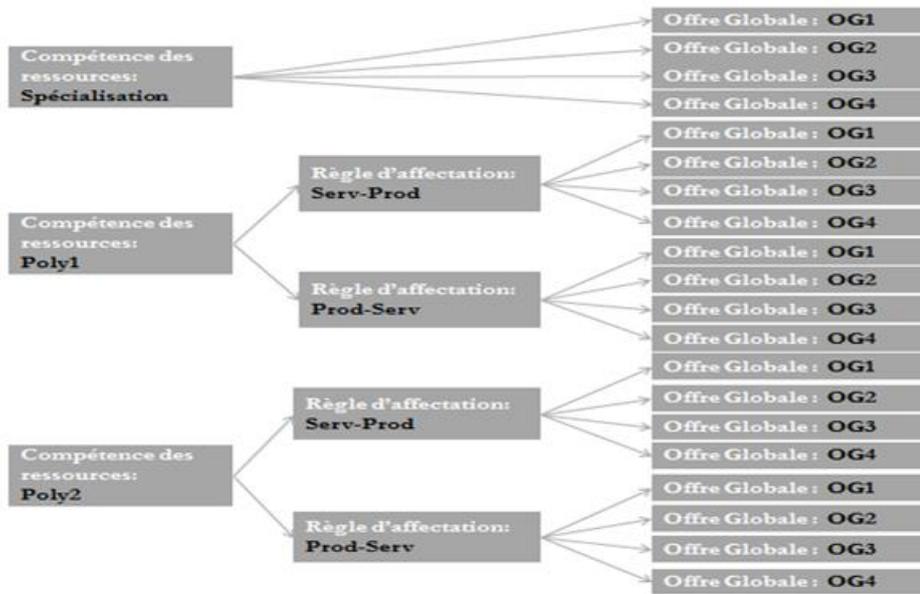


Figure 87 Les différentes configurations du système étudié

2. Analyse comparative des configurations résilientes : l'objectif est d'aboutir à une recommandation finale plus précise qu'à la première étape, concernant les configurations les plus résilientes face aux différentes sources d'incertitudes considérées (Figure 88). Au lieu d'un processus de sélection, nous proposons ici une aide à la classification de l'ensemble des configurations résilientes basée sur l'utilisation de plusieurs critères d'analyse comparative issue de la technique d'arbre de décisions.

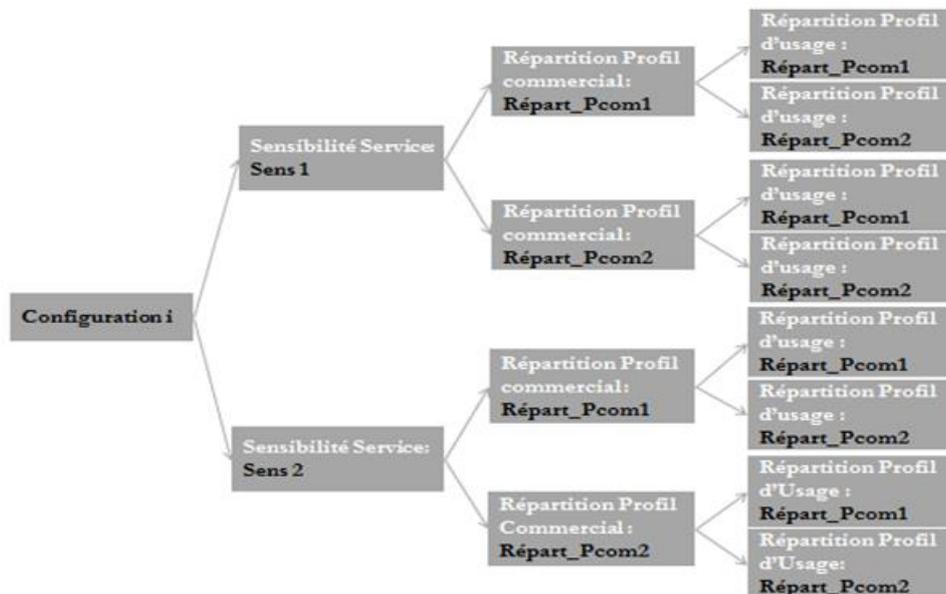


Figure 88 Les différentes sources d'incertitudes du système étudié

4.3.1 Sélection des configurations résilientes

Dans la situation initiale, nous avons mesuré les temps d'attentes (ou temps de réponse au client) pour les différents services actifs (Collecte, Livraison et Intervention). Nous définissons maintenant un repère (qualitatif) correspondant à la tolérance du client vis-à-vis de ces écarts : ce

seuil, ou acceptation de la détérioration de temps d'attente, est positionné à 48h. En effet, et étant donné que nous travaillons sur la transition vers une offre PSS, l'analyse de la détérioration de la performance initiale de l'entreprise est primordiale. Le décideur n'a pas envie de voir la performance initiale de l'entreprise dégradée au profit de cette transition (qui ne représente, pour commencer, que 10% de son activité). Nous allons donc définir un seuil minimal ou maximal d'acceptation de la détérioration de la performance : un seuil minimal pour les indicateurs de type « taux de satisfaction de service », et un seuil maximal pour les indicateurs de type « temps moyen d'attente ». Ce seuil délimitera la détérioration maximale tolérée.

L'analyse des résultats se fera sur des indicateurs agrégés sur l'ensemble des sources d'incertitudes ; nous avons choisi de travailler sur le résultat maximal pour chaque indicateur de temps d'attente. Autrement dit, on se positionne sur la pire performance pour chaque configuration. Cette performance ne doit pas excéder le seuil de détérioration fixé. Les Figure 90, Figure 91 et Figure 91 nous donnent les différents temps d'attentes avec le seuil maximal accepté de détérioration, pour chacune des 20 configurations considérées (Tableau 36).

| Numéro de configuration | Polyvalence | Règle d'affectation | Offre de contrat | Désignation |
|-------------------------|---------------|---------------------|------------------|----------------|
| 1 | Spécialisé | - | OG1 | Spécialisé-OG1 |
| 2 | Polyvalence 1 | Priorité Production | OG1 | Poly1-Prod-OG1 |
| 3 | Polyvalence 1 | Priorité Service | OG1 | Poly1-Serv-OG1 |
| 4 | Polyvalence 2 | Priorité Production | OG1 | Poly2-Prod-OG1 |
| 5 | Polyvalence 2 | Priorité Service | OG1 | Poly2-Serv-OG1 |
| 6 | Spécialisé | - | OG2 | Spécialisé-OG2 |
| 7 | Polyvalence 1 | Priorité Production | OG2 | Poly1-Prod-OG2 |
| 8 | Polyvalence 1 | Priorité Service | OG2 | Poly1-Serv-OG2 |
| 9 | Polyvalence 2 | Priorité Production | OG2 | Poly2-Prod-OG2 |
| 10 | Polyvalence 2 | Priorité Service | OG2 | Poly2-Serv-OG2 |
| 11 | Spécialisé | - | OG3 | Spécialisé-OG3 |
| 12 | Polyvalence 1 | Priorité Production | OG3 | Poly1-Prod-OG3 |
| 13 | Polyvalence 1 | Priorité Service | OG3 | Poly1-Serv-OG3 |
| 14 | Polyvalence 2 | Priorité Production | OG3 | Poly2-Prod-OG3 |
| 15 | Polyvalence 2 | Priorité Service | OG3 | Poly2-Serv-OG3 |
| 16 | Spécialisé | - | OG4 | Spécialisé-OG4 |
| 17 | Polyvalence 1 | Priorité Production | OG4 | Poly1-Prod-OG4 |
| 18 | Polyvalence 1 | Priorité Service | OG4 | Poly1-Serv-OG4 |
| 19 | Polyvalence 2 | Priorité Production | OG4 | Poly2-Prod-OG4 |
| 20 | Polyvalence 2 | Priorité Service | OG4 | Poly2-Serv-OG4 |

Tableau 36 description des différentes configurations

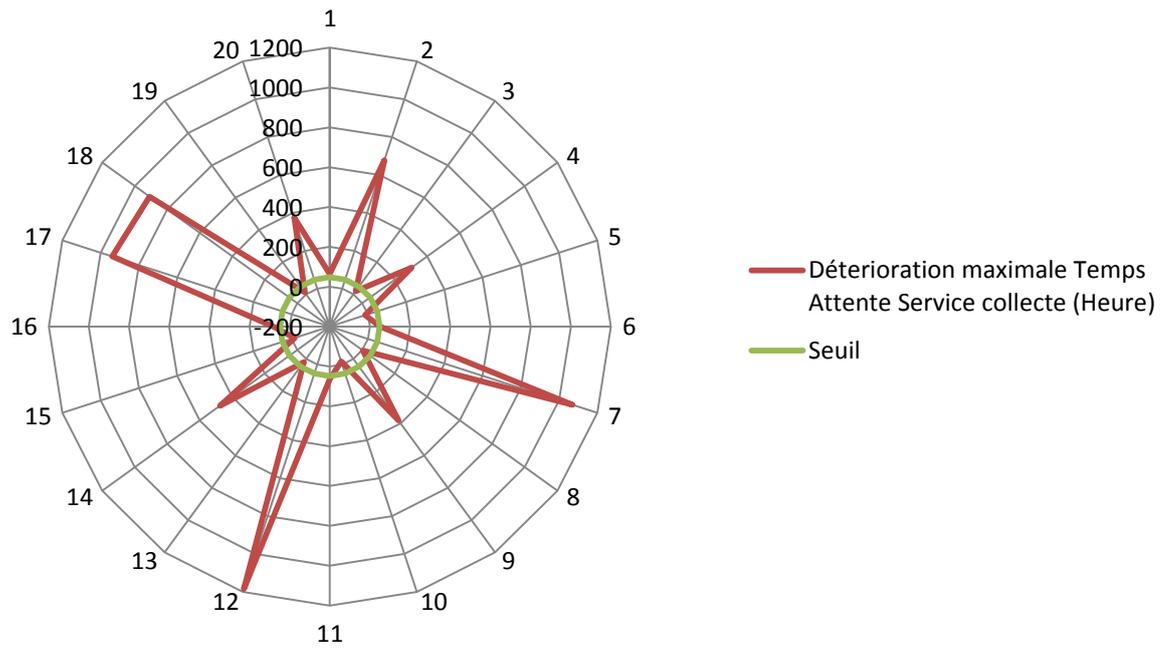


Figure 89 Service Collecte

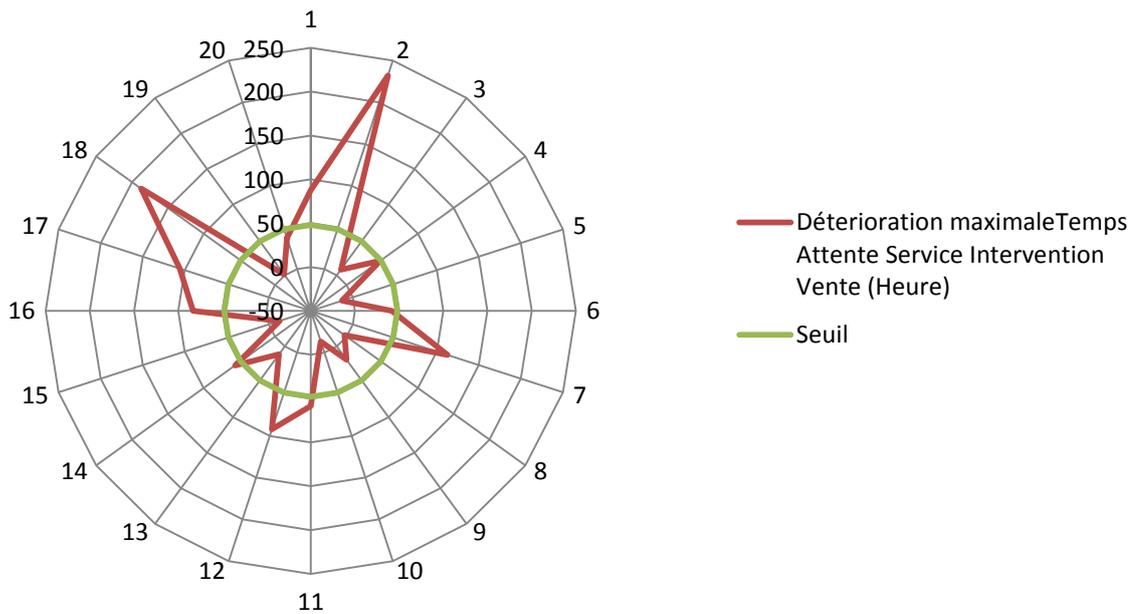


Figure 90 Service Intervention vente

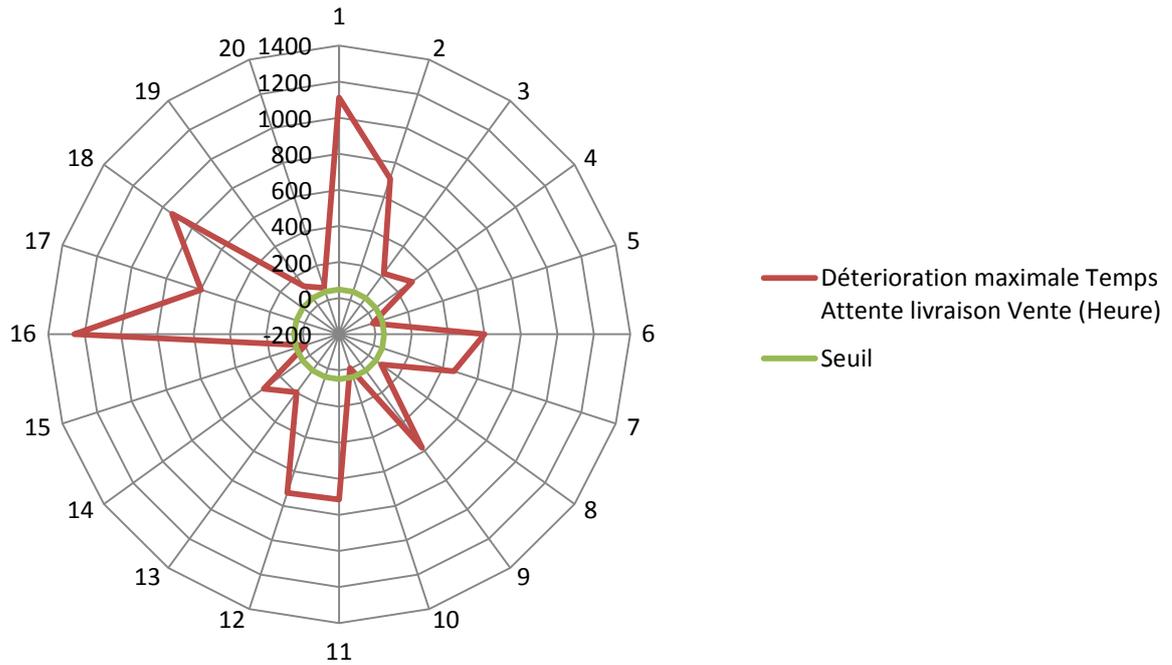


Figure 91 Service Livraison vente

Le Tableau 37 donne un ensemble de configurations résilientes pour la suite de l'analyse.

| Indicateurs de performances | Détérioration temps d'attente maintenance | Détérioration temps d'attente Livraison | Détérioration temps d'attente Collecte |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
| <i>Configuration non résilientes</i> | Spéc-OG1 | Spéc-OG1 | Spéc-OG1 |
| | Spéc-OG2 | Spéc-OG2 | Spéc-OG2 |
| | Spéc-OG3 | Spéc-OG3 | Spéc-OG3 |
| | Spéc-OG4 | Spéc-OG4 | Spéc-OG4 |
| | Poly1-Serv-OG4 | Poly1- Serv-OG1 | Poly1-Serv-OG4 |
| | Poly1-Prod-OG3 | Poly1- Serv-OG2 | Poly1- Prod-OG1 |
| | Poly1-Prod-OG4 | Poly1-Serv-OG3 | Poly1- Prod-OG2 |
| | Poly2- Prod-OG1 | Poly1-Serv-OG4 | Poly1-Prod-OG3 |
| | Poly2- Prod-OG2 | Poly1- Prod-OG1 | Poly1-Prod-OG4 |
| | Poly2-Prod-OG3 | Poly1- Prod-OG2 | Poly2-Serv-OG4 |
| | | Poly1-Prod-OG3 | Poly2- Prod-OG1 |
| | | Poly1-Prod-OG4 | Poly2- Prod-OG2 |
| | | Poly2-Serv-OG4 | Poly2-Prod-OG3 |
| | | Poly2- Prod-OG1 | Poly2-Prod-OG4 |
| | | Poly2- Prod-OG2 | |
| | Poly2-Prod-OG3 | | |
| | Poly2-Prod-OG4 | | |
| <i>Configurations résilientes retenues pour les trois critères</i> | Poly2-Serv-OG1 / Poly2-Serv -OG2 / Poly2-Serv -OG3 | | |

Tableau 37 Configurations résilientes

Les configurations qui satisfont le critère de détérioration maximale acceptée par les décideurs sont les configurations pour lesquelles toutes les ressources sont polyvalentes (Polyvalence 2) et où la priorité, en cas de conflit sur ressources, est donnée aux activités de services. Nous avons donc trois configurations qui se différencient par l'offre de contrat globale (OG1, OG2 et OG3). Autrement dit, l'application du critère de sélection a permis à l'industriel de fixer deux leviers de décision : le degré de polyvalence et la règle d'affectation. La situation décisionnelle a donc

évolué : dorénavant, nous allons rechercher la (les) offre(s) globale(s) permettant une bonne robustesse face aux incertitudes.

4.3.2 Classification des configurations résilientes, en environnement incertain non probabiliste

Cette deuxième analyse concernera les configurations résilientes sélectionnées. L'objectif est de donner la (les) configuration(s) la (les) plus résiliente(s) par une analyse comparative sur plusieurs indicateurs de performance de la robustesse des configurations. La décision étant prise dans un contexte et un environnement incertain, nous sommes conduits à envisager tous les cas possibles de sources d'incertitudes auxquels la solution peut être confrontée dans la réalité. En présence de sources d'incertitude non mesurables, le décideur ne peut pas pondérer l'importance respective de chaque source d'incertitude par une probabilité d'occurrence. Cependant, des critères ont été proposés dans la littérature afin de pallier ce problème. La démarche et les différents critères d'agrégation utilisés pour l'aide à la décision multicritère dans un environnement incertain non probabiliste sont largement discutée dans la littérature (Raïffa 1973)(Kast 1993)(Carlier et al. 2002) (Marques 2010); nous allons utiliser et présenter brièvement quelques-uns de ces critères lors de l'analyse.

Dans notre étude, la décision correspond à la configuration du système productif et de l'offre globale. Nous allons effectuer l'analyse comparative sur plusieurs indicateurs de performance⁸ qui sont :

- Taux de satisfaction de l'acte de vente et acte PSS
- Temps d'attente des différents services de vente
- Temps d'attente des différents services PSS
- Nombre moyen de retards (Livraison et Intervention)

Pour chacune des configurations industrielles résilientes, les indicateurs de performance sont mesurés pour chaque combinaison de facteurs d'incertitude (comme présenté sur la Figure 88). L'agrégation des résultats sur l'ensemble des sources d'incertitude dépendra de la logique du décideur (décideur optimiste, pessimiste...).

4.3.2.1 Critère de Laplace

En l'absence d'information sur les différents types d'aléas, le critère de Laplace suggère une hypothèse d'équiprobabilité sur les différents aléas, d'après ce que Laplace appelle « principe de la raison insuffisante ». L'évaluation de chaque configuration est alors calculée à partir de la moyenne arithmétique de la performance sur les différents types d'aléas. Nous aurons alors une performance moyenne pour chaque configuration. Le Tableau 38 donne la classification des différentes configurations sur différents indicateurs de performance. Le rang de chaque configuration correspond au classement par ordre croissant de la meilleure à la pire solution par rapport au critère considéré et à l'indicateur de performance. Un score total est calculé pour avoir

⁸ Nous avons sélectionné les indicateurs de performance qui impactent la satisfaction du client et la performance du système productif. Nous nous intéressons à la performance industrielle des activités de production et des activités de services et la satisfaction des clients.

la meilleure configuration par rapport au critère de Laplace et en considérant tous les indicateurs de performance.

| Indicateur de performance | Poly2-Serv-OG1 | | Poly2-Serv-OG2 | | Poly2-Serv-OG3 | |
|-----------------------------------------------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
| | Performance | Rang | Performance | Rang | Performance | Rang |
| Taux de satisfaction acte de vente | 63% | 1 | 53% | 2 | 63% | 1 |
| Taux satisfaction acte PSS | 63% | 2 | 53% | 3 | 64% | 1 |
| Temps d'attente Livraison Vente | 4 | 1 | 15 | 2 | 4 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Vente | 2 | 1 | 19 | 2 | 2 | 1 |
| Temps d'attente collecte | 19 | 1 | 49 | 2 | 19 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Curative -PSS- | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Préventive -PSS- | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 |
| Temps d'attente Livraison -PSS- | 4 | 1 | 4 | 1 | 4 | 1 |
| Temps d'attente récupération | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Nombre moyen de retard Livraison | 8 | 1 | 49 | 3 | 40 | 2 |
| Nombre moyen de retard Intervention | 8 | 1 | 8 | 1 | 8 | 1 |
| Score total | 12 | | 19 | | 12 | |

Tableau 38 Résultats d'analyse par le critère de Laplace

La meilleure configuration suggérée par le critère de Laplace correspond à une configuration Polyvalence2 des ressources, une priorité pour les activités de service et une offre globale de type OG1 ou OG3.

4.3.2.2 Critère de Wald (MaxiMin)

Le critère de Wald correspond à des décideurs pessimistes. Ce critère est utile pour des situations la prudence est nécessaire lors de la prise de décision. Pour chaque configuration, nous retenons la performance minimale correspondant aux différentes sources d'incertitudes. Ensuite on choisit la configuration qui maximise cette performance (d'où le nom MaxiMin). Le Tableau 39 donne la classification des différentes configurations sur différents indicateurs de performance sous le critère de Wald.

| Indicateur de performance | Poly2-Serv-OG1 | | Poly2-Serv-OG2 | | Poly2-Serv-OG3 | |
|-----------------------------------------------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
| | Performance | Rang | Performance | Rang | Performance | Rang |
| Taux de satisfaction acte de vente | 43% | 1 | 43% | 1 | 43% | 1 |
| Taux satisfaction acte PSS | 43% | 1 | 43% | 1 | 43% | 1 |
| Temps d'attente Livraison Vente | 5 | 1 | 22 | 2 | 5 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Vente | 3 | 1 | 25 | 2 | 3 | 1 |
| Temps d'attente collecte | 20 | 1 | 65 | 2 | 20 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Curative -PSS- | 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Préventive -PSS- | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 |
| Temps d'attente Livraison -PSS- | 5 | 1 | 5 | 1 | 5 | 1 |
| Temps d'attente récupération | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Nombre moyen de retards Livraison | 10 | 1 | 65 | 3 | 52 | 2 |
| Nombre moyen de retards Intervention | 10 | 2 | 9 | 1 | 9 | 1 |
| Score total | 12 | | 16 | | 12 | |

Tableau 39 Résultats d'analyse par le critère de Wald

La meilleure configuration suggérée par le critère de Wald correspond à une configuration Polyvalence2 des ressources, une priorité pour les activités de services et une offre globale de type OG1 ou OG3.

4.3.2.3 Critère MaxiMax

Au contraire du critère Maximin, le critère MaxiMax correspond à des décideurs plutôt optimistes. Sous ce critère, on choisit la configuration qui a la meilleure performance, on pense ainsi qu'au niveau des sources d'incertitude, c'est l'incertitude la plus favorable à une meilleure performance qui sera effective dans la réalité. Le Tableau 40 donne la classification des différentes configurations sur différents indicateurs de performance sous le critère MaxiMin.

| Indicateurs de performance | Poly2-Serv-OG1 | | Poly2-Serv-OG2 | | Poly2-Serv-OG3 | |
|-----------------------------------------------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
| | Performance | Rang | Performance | Rang | Performance | Rang |
| Taux de satisfaction acte de vente | 99% | 1 | 63% | 2 | 99% | 1 |
| Taux satisfaction acte PSS | 99% | 1 | 63% | 2 | 99% | 1 |
| Temps d'attente Livraison Vente | 3 | 1 | 8 | 3 | 4 | 2 |
| Temps d'attente Intervention Vente | 2 | 1 | 12 | 2 | 2 | 1 |
| Temps d'attente collecte | 19 | 2 | 29 | 3 | 18 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Curative -PSS- | 2 | 2 | 1 | | 2 | |
| Temps d'attente Intervention Préventive -PSS- | 3 | 1 | 4 | 1 | 4 | 2 |
| Temps d'attente Livraison -PSS- | 3 | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 |
| Temps d'attente récupération | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Nombre moyen de retard Livraison | 7 | 1 | 29 | 2 | 29 | 2 |
| Nombre moyen de retard Intervention | 7 | 2 | 6 | 1 | 6 | 1 |
| Score total | 14 | | 21 | | 16 | |

Tableau 40 Résultats d'analyse par le critère de Maximax

La meilleure configuration suggérée par le critère MaxiMax correspond à une configuration Polyvalence2 des ressources, une priorité pour les activités de service et une offre globale de type OG1.

4.3.2.4 Critère de Savage (Regret MiniMax)

Ce critère permet de minimiser le « manque à gagner » ou le regret à travers le calcul d'une matrice des regrets pour chaque source d'incertitudes. Le choix se porte alors sur la configuration qui minimise le regret maximal du décideur. Le Tableau 41 donne la classification des différentes configurations sur différents indicateurs de performance sous le critère de Savage.

| Indicateurs de performance | Poly2-Serv-OG1 | | Poly2-Serv-OG2 | | Poly2-Serv-OG3 | |
|-----------------------------------------------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
| | Regret | Rang | Regret | Rang | Regret | Rang |
| Taux de satisfaction acte de vente | 3% | 2 | 44% | 3 | 0% | 1 |
| Taux satisfaction acte PSS | 3% | 2 | 44% | 3 | 1% | 1 |
| Temps d'attente Livraison Vente | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Vente | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Temps d'attente collecte | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Temps d'attente Intervention Curative -PSS- | 0 | 1 | 0 | | 0 | |
| Temps d'attente Intervention Préventive -PSS- | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Temps d'attente Livraison -PSS- | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 |
| Temps d'attente récupération | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Nombre moyen de retard Livraison | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Nombre moyen de retard Intervention | 0 | 1 | 0 | | 0 | |
| Score total | 16 | | 19 | | 13 | |

Tableau 41 Résultats d'analyse par le critère de Savage

La meilleure configuration suggérée par le critère de Savage correspond à une configuration Polyvalence2 des ressources, une priorité pour les activités de service et une offre globale de type OG3.

4.3.2.5 Conclusions et relativisation de l'étude de robustesse

La procédure de sélection et d'analyse comparative effectuée pour l'analyse de la robustesse des configurations a été motivée par le fait que lors de la transition vers une offre PSS, les décideurs ne souhaitent pas compromettre leur performance actuelle. Ainsi, une première sélection basée sur la performance attachée au pire cas de détérioration de la performance par rapport aux facteurs d'incertitudes a été retenue. Par ailleurs, notons que pour certaines configurations, raisonner en moyenne engendrerait des erreurs d'appréciation vu la dispersion de la performance d'une source d'incertitude à une autre.

L'analyse comparative des configurations résilientes nous a permis de discriminer les différentes possibilités de configurations sélectionnées. L'application des différents critères nous a montré que deux configurations sont proches dans leurs performances par rapport aux différents indicateurs considérés (Tableau 42).

| Configuration | Laplace | Wald (Pessimiste) | Maximax (Optimiste) | Savage | Score final |
|----------------|---------|-------------------|---------------------|--------|-------------|
| Poly2-Serv-OG1 | 12 | 12 | 14 | 16 | 54 |
| Poly2-Serv-OG2 | 19 | 16 | 21 | 19 | 75 |
| Poly2-Serv-OG3 | 12 | 12 | 16 | 13 | 53 |

Tableau 42 Résultats récapitulatifs pour les différents critères

Ces deux configurations correspondent à une même configuration du système productif avec une polyvalence totale de l'ensemble des ressources et une priorité d'affectation des ressources, en cas de besoin, aux activités de service et une offre globale de type OG1 et OG3. La performance de cette configuration avec la situation initiale (sans PSS) est résumée dans le Tableau 43

| Indicateurs de performance | Poly2-Serv-OG1 | Poly2-Serv-OG3 | Sans PSS (sans polyvalence) |
|-----------------------------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| | Taux de satisfaction acte de vente | 63% | 63% |
| Taux satisfaction acte PSS | 63% | 64% | - |
| Temps d'attente Livraison Vente (heure) | 4 | 4 | 8 |
| Temps d'attente Intervention Vente (heure) | 2 | 2 | 14 |
| Temps d'attente collecte (heure) | 19 | 19 | 17 |
| Temps d'attente Intervention Curative -PSS- | 2 | 2 | - |
| Temps d'attente Intervention Préventive -PSS- | 4 | 4 | - |
| Temps d'attente Livraison -PSS- | 4 | 4 | - |
| Temps d'attente récupération | 1 | 1 | - |
| Nombre moyen de retard Livraison | 8 | 40 | - |
| Nombre moyen de retard Intervention | 8 | 8 | - |

Tableau 43 Résultats d'analyse par le critère de Laplace

Les résultats de l'analyse comparative confortent l'analyse effectuée par l'ACP. En effet, nous avons souligné que les durées de contrat de type OG3 détériorent la performance par le fait que la durée longue (deux ans) est associée au produit TP2 (les produit TP2 sont proposés dans des

contrats longues durées « 2 ans »). L'analyse comparative ne nous suggère pas de choisir cette configuration (ou option OG3).

Pour terminer, nous pouvons ainsi chercher à cibler des actions pour mieux maîtriser les sources d'incertitudes. Les sources d'incertitudes que nous avons considérées correspondent particulièrement aux caractéristiques et comportements des clients. Un suivi et une analyse fine du marché et des besoins et comportements des clients dans un contexte PSS est primordial. La performance industrielle dépend fortement des informations collectées sur les clients. Un département Relation client et Marketing est donc nécessaire afin de se consacrer pleinement à la connaissance de sa clientèle et minimiser les sources d'incertitudes. Au niveau du comportement des clients dans l'usage, les résultats nous montrent une sensibilité moins importante. Néanmoins les résultats des simulations permettent d'aider l'entreprise à définir les contrats intéressants. Ainsi, elle pourra influencer le comportement du client au niveau de l'usage des produits.

5 Conclusion

Le modèle de simulation construit est constitué de deux modèles de simulation interconnectés. L'approche processus et l'approche de la simulation à événements discrets, caractéristique du logiciel ARENA, nous ont permis d'avoir un modèle de simulation qui reproduit le fonctionnement d'ENVIE dans une situation de transition vers une offre PSS. Nous avons appliqué la démarche de modélisation et de simulation sur le cas ENVIE présenté dans le chapitre 7. L'analyse du plan d'expérience complet (160 scénarios) nous a permis, à travers l'ACP et une analyse graphique, de tirer des conclusions et des caractéristiques des interactions entre variables du système d'usage et variables du système productif. Nous avons pu analyser plus finement la manière dont les leviers de gestion influencent la performance de l'entreprise, d'une part, et l'impact des sources d'incertitude sur la performance industrielle, d'autre part. L'analyse nous a permis de déceler des influences qui peuvent se révéler contradictoires (amélioration des activités de production et détérioration des activités de service). De telles observations mettent l'accent sur la nécessité de développer des règles de gestion fines pour trouver un équilibre en jouant à la fois sur la flexibilité d'affectation des ressources backoffice/front office et sur les degrés de polyvalence. Par ailleurs et à travers l'analyse comparative et l'application de différents critères de discrimination entre les configurations, nous avons pu conforter nos conclusions et les résultats de l'ACP.

D'une manière synthétique, nous soulignons l'importance de la maîtrise et la connaissance des besoins et comportements de clients. Ceux-ci influencent directement la demande en produit (et donc les règles de gestion de la production et des stocks) et la demande en services. Sans cela, l'entreprise perdra en efficacité et en efficacité même si elle fait des investissements en termes de formation des ressources humaines opérationnelles, autrement dit, un ciblage des investissements est nécessaire (ceci a été souligné par l'Analyse en Composantes Principales). Par ailleurs, la configuration de l'offre de contrat dépend fortement des caractéristiques techniques du produit. Dans le cas d'un produit dont la durée de vie est courte et/ou le taux de panne est important, proposer des contrats de longue durée détériorerait la performance industrielle.

De plus, le modèle de simulation et le plan d'expérience nous ont permis d'étudier l'interaction entre les variables du système d'usage (sources d'incertitudes) et les variables du système productif, le système d'usage constituant la source des différentes sollicitations en demande de produits et services. L'étude nous a permis de mesurer et d'étudier l'impact et la sensibilité de la performance industrielle vis-à-vis des variables du système d'usage. Par ailleurs, les leviers de décisions, eux aussi, influencent le système d'usage. En effet, pour certaines configurations non résilientes et non performantes, nous avons un accroissement de l'indicateur « contrats rompus par le client » (suite à une mauvaise performance de l'industriel). Cela dit, une recherche d'équilibre entre les leviers de gestion, d'une part, et une maîtrise des sources d'incertitudes, d'autre part, est primordiale pour assurer une bonne transition vers une offre PSS. Le modèle de simulation est donc un outil d'accompagnement du processus de servicisation au niveau de la performance industrielle pour l'entreprise ENVIE.

Chapitre 9 Conclusion Générale et perspectives

1 Contexte global

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à la gestion de la servicisation d'un point de vue performance industrielle. La servicisation des entreprises s'effectuent d'une manière progressive et en apportant des changements au sein de l'entreprise (changement du modèle économique et adaptation des processus à ce dernier). Si, comme nous l'avons déjà souligné au chapitre 2, les problématiques de servicisation ont été largement discutées d'un point de vue stratégique. L'absence de travaux dans des outils d'aide à la décision et d'accompagnement de l'entreprise d'un point de vue opérationnel ne rassure pas les décideurs. En effet, les décideurs sont unanimes pour dire que la servicisation peut être génératrice de bénéfices et d'amélioration de leur compétitivité mais leurs appréhension est sur le manque de visibilité et d'outil opérationnel pour voir l'impact de la servicisation sur les décisions de gestions opérationnelles.

Nos travaux de thèse s'inscrivent dans les travaux de modélisation et de simulation des systèmes de production. Nous nous sommes intéressés à un nouveau contexte d'offre économique (PSS) en mettant l'accent sur l'implication et l'interaction de celui-ci avec le système productif. Dans ce contexte, nous avons proposé une démarche de modélisation et de simulation adaptée au contexte PSS. Ensuite nous avons appliqué cette démarche en proposant des modèles conceptuels et des modèles de simulation, et nous avons mené une étude de cas sur la base des résultats de ces modèles. La figure suivante résume la démarche de modélisation et de simulation proposée et appliquée à l'entreprise ENVIE.

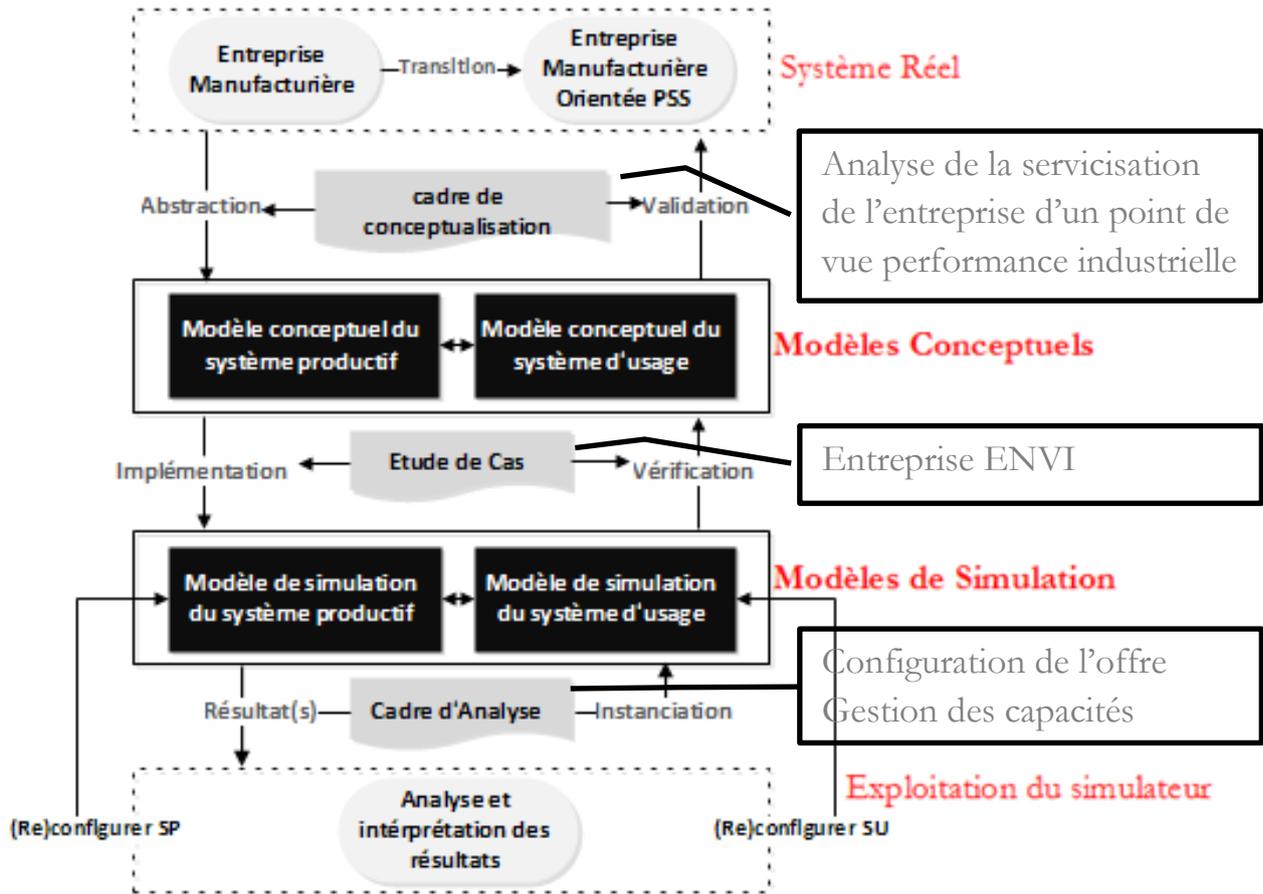


Figure 92 Démarche de modélisation et de simulation appliquée à ENVIE Loire

Nous allons synthétiser dans ce qui suit l'apport de nos travaux de thèse ainsi que les perspectives. L'apport sera abordé de deux points de vue : (i) les apports d'un point de vue académique et (ii) les apports d'un point de vue pratique. Les perspectives, quant à elles, seront abordées selon des points de vue à court, moyen et long terme.

2 Apport de l'approche par modélisation et simulation pour l'accompagnement des industriels lors du processus de servicisation

L'aide à la décision permet aux décideurs de percevoir et d'évaluer leurs décisions avant la mise en pratique de celles-ci dans la réalité. L'état de l'art effectué en chapitre 3 nous a permis de déceler des manques en terme de démarche de modélisation et de simulation adaptée au contexte PSS. Nous avons donc proposé une démarche de modélisation et simulation structurée afin d'évaluer et d'analyser des décisions relatives à la configuration du système productif et du système d'usage (chapitre 4) dans un contexte PSS. Comme support à cette démarche de modélisation et de simulation, des modèles conceptuels ont été présentés dans les chapitres 5 et 6, ces modèles ont été conçus pour une aide à la décision et la configuration du système productif

orienté PSS et de l'offre de contrat. Nous avons ensuite construit un modèle de simulation, support aux différentes simulations effectuées dans le chapitre 8.

2.1 Apports et conclusions académiques

Nos contributions au niveau académique se situent au niveau de la démarche de modélisation et de simulation globale, au niveau des modèles conceptuels et des modèles de simulation et enfin au niveau de l'aide à la décision en lien à l'objectif d'analyse traité (gestion des capacités, gestion de l'offre et leurs interactions). La démarche de modélisation et de simulation proposée se caractérise par:

1. la prise en considération de la transition vers une offre PSS en intégrant dans les modèles conceptuels les caractéristiques du contexte PSS,
2. le processus de contextualisation permettant une spécification progressive de l'aide à la décision et ainsi une certaine généralité des modèles conceptuels et des modèles de simulation,
3. le découplage entre le système productif et le système d'usage, qui permet d'adapter le niveau de détails des modèles conceptuels et des modèles de simulations pour chacun des deux sous-systèmes,
4. la prise en considération de la phase d'exploitation du simulateur à des fins de reconfiguration du système productif et du système d'usage.

Les modèles conceptuels ont permis la représentation du système réel, en référence au cadre de conceptualisation établi. C'est donc un support pour la compréhension et la construction de la connaissance du système étudié. Les modèles conceptuels construits ont été implémentés et transcrits, sur la base de l'étude de cas ENVIE. Le modèle de simulation offre la possibilité d'étudier une multitude de configurations et de scénarios de gestion des capacités et de gestion de l'offre de l'entreprise. L'objectif du modèle de simulation est l'anticipation des conséquences de chaque configuration de l'entreprise (d'un point de vue de gestion des capacités et de gestion de l'offre) sur la performance industrielle de celle-ci. Le simulateur permet ainsi d'étudier des variables et leviers au niveau du système productif et au niveau du système d'usage.

La performance mesurée par le simulateur est soumise à des variables dont les valeurs sont incertaines pour les décideurs, il fallait donc prendre cela en considération dans la construction du plan d'expérience et dans l'analyse des résultats. Nous avons ainsi considéré des variables « sources d'incertitudes » qui nous permettent d'étudier la sensibilité et la robustesse de la performance. Ces sources d'incertitudes sont liées au système d'usage: la démarche de servicisation accroît l'incertitude des décideurs, du fait qu'un bon nombre d'informations concernant les comportements de la clientèle restent connus de manière très imparfaite.

2.2 Conclusions et implications managériales pour l'entreprise

La démarche de modélisation et de simulation proposée a été appliquée sur le cas ENVIE. Nous avons proposé à l'entreprise un outil de simulation lui permettant de tester et de prévoir la performance de son système par rapport à tel ou tel choix décisionnel. Nous avons considéré et

effectué, dans les chapitres 7 et 8, un plan d'expérience, des simulations et une analyse des résultats. Le plan d'expérience est constitué de:

- (i) facteurs de décision : le degré de flexibilité en compétence disponible et la règle d'affectation des ressources et enfin l'offre globale et
- (ii) facteurs d'incertitude : l'exigence qualité de service/qualité de produit des clients, la sensibilité pour la qualité de service et enfin la répartition selon le profil d'usage.

Nous avons effectué, d'une part, une analyse de l'interaction et de l'influence des différentes variables (facteurs de décisions et facteurs d'incertitudes) sur la performance industrielle de l'entreprise et d'autre part une analyse de robustesse des différentes configurations face aux facteurs d'incertitudes. Nous sommes arrivés à quelques conclusions et implications managériales que nous pouvons résumer en quelques points :

1. Au niveau des facteurs de décisions

- La durée de contrat influence la performance industrielle de l'entreprise. Dans un contexte de contrat de longue durée, la cause principale est le manque de produits récupérés par période, qui handicape la performance de l'entreprise en termes de disponibilité des stocks (notamment dans le cas où elle utilise les produits collectés pour le remanufacturing de nouveaux produits). Proposer une durée de contrat longue devrait s'accompagner de la diversification des sources de stocks de réapprovisionnement de l'entreprise (celle-ci ne doit pas être tributaire des produits collectés en fin de contrat).
- Une durée de contrat de deux ans affectée à un produit dont les caractéristiques et le profil technique est « mauvais »⁹ (OG3) détériore considérablement la performance industrielle.
- L'amélioration de la performance industrielle par une formation des employés (polyvalence) n'est pas automatique. En effet, un équilibre entre la règle d'affectation des ressources et le degré de polyvalences doit être trouvé car, parfois, un excès de polyvalence ne servirait à rien si l'utilisation des ressources n'est pas optimisée
- Le dilemme pour l'entreprise est de trouver un équilibre entre rupture de stocks de produits finis et retards en prestation de service. Une analyse économique permettra de trouver le bon équilibre. Notons, tout de même, que les leviers de décisions permettent une amélioration importante de la performance industrielle.

2. Au niveau des facteurs d'incertitudes

- Une clientèle fortement sensible à la qualité de service exigera une réactivité plus importante de l'entreprise. Celle-ci subit donc une détérioration de sa performance et la polyvalence ne permettra pas de résoudre ce problème. La seule solution est donc un redimensionnement des ressources (le simulateur permet aussi de faire du dimensionnement des ressources pour atteindre un objectif de performance donné).

⁹ Mauvais parce que le produit possède un taux de panne élevé du fait, d'une part, que le produit est constitué de module remanufacturé, et d'autre part que le produit est utilisé par des clients dont le profil d'usage correspond à une utilisation excessive du produit

- Les facteurs d’incertitudes affectent considérablement la performance. Des actions pour minimiser leurs impacts sont donc nécessaires. Une connaissance et une maîtrise des informations liés aux besoins et usages des clients est primordial pour l’entreprise si elle souhaite proposer et maîtriser une certaine performance (garantie de performance). Cette connaissance permettra d’une part une meilleure gestion industrielle et d’autre part une meilleure gestion de l’offre de contrat (au niveau, notamment juridique).

3 Perspectives

Ayant positionné notre problématique sur l’aide à la décision par une approche de modélisation et de simulation, inéluctablement, des hypothèses ont été formulées. Celles-ci limitent, d’une part, la portée du modèle conceptuel (qui est lié au cadre de conceptualisation), et d’autre part, l’exploitation du modèle de simulation (qui est lié au cadre d’entreprise) et l’analyse des résultats obtenus par celui-ci (qui sont délimité par le cadre d’analyse et d’évaluation). Nous allons, dans cette section, présenter quelques perspectives. Celles-ci seront abordées par leurs niveaux de détails et permettront de progresser dans nos travaux de recherche futur sur la thématique de servicisation.

3.1 Au niveau du cadre d’analyse et d’évaluation

Nous avons construit un modèle de simulation permettant une analyse d’une grande variété de configurations de l’entreprise. Une première perspective consiste à étendre le cadre d’analyse et d’évaluation. Nous pouvons exploiter le simulateur pour étudier d’autres leviers de décisions notamment :

1. Gestion des ressources
 - Analyser de nouvelles règles d’affectation des ressources sur les activités (FIFO, affectation selon l’offre de contrat, affectation selon le profil du client...),
2. Gestion du contrat
 - Analyser d’autres leviers liés à l’offre de contrat (de nouveaux bouquets de services, une nouvelle garantie de service...)
 - Analyser l’impact de la fidélisation sur la performance industrielle
3. Gestion de la demande
 - Etudier d’autres profils de la demande globale pour la famille lave-linge, et tester une attractivité du marché PSS évolutive et non fixe.
 - Analyser d’une manière fine les sources de détérioration de la performance (quels sont les facteurs d’incertitudes qui influent le plus sur la performance industrielle et comment le « maîtriser »).
 - Utiliser l’outil d’arbre de décision pour une meilleure analyse de l’impact des facteurs d’incertitudes.

Par ailleurs, l'analyse de la performance peut se faire sur d'autres critères, notamment économiques.

3.2 Au niveau du modèle de simulation

Le modèle de simulation a été construit sur le cas ENVIE Loire, par rapport à un besoin de modélisation spécifique. Une perspective est d'étendre le modèle de simulation en intégrant d'autres politiques et stratégies de gestion de la production et des stocks :

- actuellement, la production est gérée par un calcul des OFs. Un autre mode de gestion de la production peut s'avérer être plus performant et permettrait une meilleure flexibilité des ressources (Point de commande, reconstituer complètement calendaire...).
- le désassemblage, quant à lui, s'effectue d'une manière systématique, c'est-à-dire que l'entreprise désassemble tous les produits, lorsque le produit n'est pas considéré comme directement réutilisable. Ce qui génère parfois une charge « inutile » si les stocks sont déjà disponibles. Cette charge peut être utilisée pour d'autres activités (production ou service). Une nouvelle politique de gestion du désassemblage (processus de revalorisation) peut être envisagée et testée par le simulateur.

Nous envisageons d'appliquer la démarche de modélisation et de simulation proposée sur d'autres études de cas.

Enfin, le recours à d'autres techniques de simulation pourrait s'avérer intéressant ; notamment un couplage entre la simulation à événements discrets (SED), la simulation multi-agents et la simulation par la dynamique des systèmes. En effet, la dynamique des systèmes permettra de représenter les processus de génération de la demande, avec possibilité de modéliser les rétroactions (notamment sur l'impact de la satisfaction des clients et l'image de l'entreprise sur la demande globale et sur l'attractivité PSS). La simulation multi-agents, quant à elle, permettra de représenter, d'une manière plus fine, le comportement des clients (en prenant en considération d'une part l'interaction des clients entre eux, et d'autre part l'interaction des clients avec leur environnement).

3.3 Au niveau des modèles conceptuels

Les possibilités d'étoffer nos travaux de recherche dans le domaine de l'aide à la décision pour la servicisation des PME peuvent être reliées aux projets en cours de développement dans le laboratoire. Une première possibilité est de proposer un autre cadre de conceptualisation, prenant notamment en considération la dimension sociale et environnementale. Nous pouvons ainsi intégrer les travaux, déjà en cours, sur cette thématique dans un outil holistique d'aide à la décision pour la servicisation. Un tel outil permettrait d'analyser la performance industrielle, mais aussi économique, environnementale et sociale de l'entreprise souhaitant basculer vers une offre PSS.

Enfin, ce sujet de thèse nous a poussé à balayer un vaste champ disciplinaire. Nous nous sommes ainsi intéressés à la notion de prestation de services, aux processus de production de biens et de services, aux processus de remanufacturing (et de manière générale aux processus de

revalorisation), à la génération de demandes mais aussi à la gestion de la production, la gestion des stocks, la gestion des ressources et la gestion des contrats. Tous ces concepts nous ont aidé et orienté pour la construction des modèles conceptuels et des modèles de simulation pour une aide à la décision dans le contexte de servicisation. Les résultats de la démarche de modélisation et simulation semble être pertinente et nous donne ainsi une matière à développer et à améliorer pour permettre une meilleure compréhension et une aide à la décision dans le contexte de servicisation.

PUBLICATIONS & BIBLIOGRAPHIE

1 Publications

Articles journaux

M. CHALAL, X. BOUCHER, G. MARQUES. Decision support for servitization of industrial SMEs: a modeling and simulation approach, Journal of Decisions Systems. (Soumis)

Articles conférences internationales

M. CHALAL, X. BOUCHER, G. MARQUES. **Modélisation des systèmes de productions orientés services**. Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et SIMulation (MOSIM), 2012, FRANCE

G. MARQUES, M. CHALAL, X. BOUCHER. **PSS Production Systems: a simulation approach for change management**, International Conference on Advances in Production Management Systems (APMS), 2012 GRÈCE.

M. CHALAL, X. BOUCHER, G. MARQUES, M.A. GIRARD. **Managing transition towards PSS: a production system simulation approach**, International Conference on Industrial Product-Service Systems, 2012, JAPON.

Posters

M. CHALAL, X. BOUCHER, G. MARQUES, M.A. GIRARD. **Servicisation des PME : Outil d'aide à la configuration du système productif et de l'offre PSS**, Journée de la recherche ED-SIS, Télécom Saint Etienne, 2013, France.

2 Bibliographie

- Lifecycle Management, in: Support Service Solution: Strategy and Transition. Presented at the Industrial Product-Service System, Cranfield, p. 268.
- Adenso-Díaz, B., González-Torre, P., García, V., 2002. A capacity management model in service industries. *International Journal of Service Industry Management* 13, 286–302.
- Åhlström, P., Nordin, F., 2006. Problems of establishing service supply relationships: Evidence from a high-tech manufacturing company. *Journal of Purchasing and Supply Management* 12, 75–89.
- Alix, T., 2010. PSS design based on project management concepts. Presented at the Industrial Product-Service System, Linköping, p. 211.
- Almeida, L.F., Miguel, P.A.C., Silva, M.T.D., 2008. A literature review of servitization: a preliminary analysis, in: POMS. California, pp. 9–12.
- Alonso-Rasgado, T., Thompson, G., Elfström, B.-O., 2004. The design of functional (total care) products. *Journal of Engineering Design* 15, 515–540.
- Alvizos, E., Angelis, J., 2010. What is servitization anyway? Presented at the Proceedings of the 21th Annual Production and Operations Management Society Conference, Vancouver.
- Annamalai Vasantha, G.V., Hussain, R., Cakkol, M., Roy, R., Evans, S., Tiwari, A., 2010. An Ontology for Product-Service Systems (Report). Cranfield University.
- Atlason, J., Epelman, M.A., Henderson, S.G., 2004. Call Center Staffing with Simulation and Cutting Plane Methods. *Annals of Operations Research* 127, 333–358.
- Atos Consulting, 2011. Servitization in product companies: Creating business value beyond products.
- Aurich, J.C., Fuchs, C., Wagenknecht, C., 2006. Modular design of technical product-service systems, in: Brissaud, D., Tichkiewitch, S., Zwolinski, P. (Eds.), . Springer Netherlands, pp. 303–320.
- Aurich, J.C., Fuchs, C., Wagenknecht, C., 2006. Life cycle oriented design of technical Product-Service Systems. *Journal of Cleaner Production* 14, 1480–1494.
- Baglin, G., Malleret, V., Groupe, H.E.C., 2004. Le développement d'offres de services dans les PMI. Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris, Paris.
- Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Benedettini, O., Kay, J.M., 2009. The servitization of manufacturing: A review of literature and reflection on future challenges. *Journal of Manufacturing Technology Management* 20, 547–567.
- Baines, T.S., Lightfoot, H.W., Evans, S., Neely, A., Greenough, R., Peppard, J., Roy, R., Shehab, E., Braganza, A., Tiwari, A., Alcock, J.R., Angus, J.P., Bastl, M., Cousens, A., Irving, P., Johnson, M., Kingston, J., Lockett, H., Martinez, V., Michele, P., Tranfield, D., Walton, I.M., Wilson, H., 2007. State-of-the-art in product-service systems. *Journal of Engineering Manufacture* 221, 1543–1552.
- Balci, O., 1994. Validation, verification, and testing techniques throughout the life cycle of a simulation study. *Ann Oper Res* 53, 121–173.
- Balci, O., 1997. Principles of Simulation Model Validation, Verification, and Testing. *Transactions of the Society for Computer Simulation International* 14, 3–12.
- Balin, S., 2007. Amélioration de processus de production de services par la simulation (Science de gestion). Université Paris-Dauphine, Paris.
- Balin, S., Giard, V., 2006. A process oriented approach to the service concepts, in: International Conference on Service Systems and Service Management. Presented at the International Conference on Service Systems and Service Management, Troyes, pp. 785–790.
- Banks Jerry, Carson John S, Nelson Barry L, 1996. Discrete-Event System Simulation.

- Prentice Hall, New Jersey.
- Barcet, A., Bonamy, J., 1988. Services et transformation des modes de production. *Revue d'économie industrielle* 43, 206–217.
- Barquet, A.P.B., de Oliveira, M.G., Amigo, C.R., Cunha, V.P., Rozenfeld, H., 2013. Employing the business model concept to support the adoption of product–service systems (PSS). *Industrial Marketing Management* 42, 693–704.
- Behrendt, S., Jasch, C., Kortman, J., Hrauda, G., Pfitzner, R., Velte, D., 2003. Eco-Service Development - Reinventing Supply and Demand in the European Union. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 14, 424–425.
- Bell, D., 1976. *The Coming Of Post-industrial Society*. Basic Books, New York.
- Beltagui, A., Riedel, J.C., Pawar, K.S., 2008. Product–Service transition: research questions, in: *14th International Conference on Concurrent Enterprising: A New Wave of Innovation in Collaborative Networks*.
- Berry, L.L., 1995. *On Great Service: A Framework for Action*. Simon and Schuster, New York City.
- Berry, L.L., Yadav, M.S., 1996. Capture and Communicate Value in the Pricing of Services. *Sloan Management Review* 41–51.
- Bhamra, T., Evans, S., Zwan, F. van der, Cook, M., 2001. Moving from Eco-Products to Eco-Services. *J. of Design Research* 1, 0. doi:10.1504/JDR.2001.009812
- Bianchi, N.P., Evans, S., Revetria, R., Tonelli, F., 2009. Influencing factors of successful transitions towards product-service systems: A simulation approach. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation* 3, 30–43.
- Bitner, M.J., 1990. Evaluating Service Encounters: The Effects of Physical Surroundings and Employee Responses. *Journal of Marketing* 54, 69–82.
- Boucher, X., 2007. Vers un pilotage agile de l'évolution des systèmes de production.
- Boucher, X., BOUDAREL, M.R., Poyard, D., 2011. Transition des PME industrielles vers le couplage produits/services, in: *9e Congrès International de Génie Industriel*. Presented at the 9e Congrès International de Génie Industriel, Saint-Sauveur.
- Brady, M., Knight, G., Croninjr, J., Tomas, G., Hult, M., Keillor, B., 2005. Removing the contextual lens: A multinational, multi-setting comparison of service evaluation models. *Journal of Retailing* 81, 215–230.
- Brax, S., 2005. A manufacturer becoming service provider – challenges and a paradox. *Managing Service Quality* 15, 142–155.
- Bressand, A., Nicolaidis, K., DISTLER, C., 1989. Networks at the heart of the service economy, in: *Strategic Trends in Services: An Inquiry into the Global Service Economy*. Harper and Row, New York, pp. 17–32.
- Breuil, A.D., 1984. Outils de conception et de décision dans les organisations de gestion de production (Thèse d'État en Sciences). Université de Bordeaux.
- Briffaut, J.-P., 2004. Processus d'entreprise pour la gestion : changements induits par le e-commerce et le e-business. Hermes Science Publications, Paris.
- Buclet, N., n.d. Concevoir une nouvelle relation à la consommation : l'économie de fonctionnalité, in: *Responsabilité et Environnement*. Annales des Mines, pp. 57–66.
- Buisine, S., Roussel, B., 2008. Analyse de l'usage : La conception industrielle de produits, in: *Ingénierie de L'évaluation et de La Décision*. Lavoisier Hermès Science, pp. 43–60.
- Bullinger, H.-J., Fähnrich, K.-P., Meiren, T., 2003. Service engineering—methodical development of new service products. *International Journal of Production Economics* 85, 275–287.
- Burlat, P., 2002. Modélisation et pilotage des organisations en réseau.
- Buxton, D., Farr, R., Maccarthy, B., 2006. *The Aero-Engine Value Chain Under Future Business Environments: Using Agent-Based Simulation to Understand Dynamic*

- Behaviour. Presented at the 8th International Conference on The Modern Information Technology in the Innovation Processes of the Industrial Enterprises, Budapest.
- Chalal, M., Boucher, X., Marquès, G., 2012. Modelisation des systèmes de production orientés services, in: Proceedings of MOSIM'12. Bordeaux.
- Chalal, M., Boucher, X., Marques, G., Girard, M.A., 2013. Managing Transition Towards PSS: a Production System Simulation Approach, in: Shimomura, Y., Kimita, K. (Eds.), *The Philosopher's Stone for Sustainability*. Springer Berlin Heidelberg, Tokyo, pp. 429–434.
- Chan, F.T.S., Abhary, K., 1996. Design and evaluation of automated cellular manufacturing systems with simulation modelling and AHP approach: a case study. *Integrated Manufacturing Systems* 7, 39–52.
- Chapurlat, V., 2007. Vérification et validation de modèles de systèmes complexes: application à la Modélisation d'Entreprise.
- Chase, R.B., 1978. Where Does the Customer Fit in a Service Operation? *Harvard Business Review* 56, 137–142.
- Chase, R.B., 1981. The Customer Contact Approach to Services: Theoretical Bases and Practical Extensions. *Operations Research* 29, 698–706.
- Chase, R.B., Apte, U.M., 2007. A history of research in service operations: What's the big idea? *Journal of Operations Management, Special Issue Evolution of the Field of Operations Management SI/ Special Issue Organisation Theory and Supply Chain Management* 25, 375–386.
- Chase, R.B., Garvin David A, 1989. The Service Factory. *Harvard Business Review* 67, 61–69.
- Chase, R.B., Hayes, R.H., 1991. Beefing Up Operations in Service Firms. *Sloan Management Review*.
- Chase, R.B., Haynes, R.M., 2000. Service Operations Management: A Field Guide, in: *Handbook of Services Marketing and Management*. T. Swartz and D. Iacobucci, California.
- Chevalier, J., 1996. L'économie industrielle comme fondement des stratégies d'entreprise. *Cahiers français* 8–14.
- Chevron, D., 1999. Contribution à l'étude de la supervision d'une cellule de démontage de produits techniques en fin de vie. ANRT, Grenoble.
- Chinosi, M., Trombetta, A., 2012. BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces* 34, 124–134.
- Cohen, M.A., Agrawal, N., Agrawal, V., 2006. Winning in the Aftermarket. *Harvard business review* 84, 129–138.
- Cumenal, D., 1997. Un modèle de dynamique des systèmes pour l'analyser et comprendre les changements d'état de l'organisation. *Revue Internationale de systémique* 11, 177–214.
- Darmon, R.Y., Laroche, M., Pétrouf, J.V., 1990. *Le marketing: fondements et applications*. McGraw-Hill, California.
- Davidow, W.H., Uttal, B., 1989. *Total customer service: the ultimate weapon*. Harper & Row, New York.
- Dominique Thiault, 2007. *Le modélisateur, de la modélisation des processus d'entreprise*. Lavoisier, Paris.
- Doumeings, G., 1984. *Méthode GRAI: méthode de conception des systèmes en productique (Doctorat)*.
- Duder, J.C., Rosenwein, M.B., 2001. Towards “zero abandonments” in call center performance. *European Journal of Operational Research* 135, 50–56.
- Duffuaa, S.O., Ben-Daya, M., Al-Sultan, K.S., Andijani, A.A., 2001. A generic conceptual

- simulation model for maintenance systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 7, 207–219.
- Dumoulin, C., Flipo, J.-P., 1991. *Les entreprises de services, sept facteurs clés de réussite*. Organisation, Paris.
- Durugbo, C., Tiwari, A., Alcock, J.R., 2011. A review of information flow diagrammatic models for product–service systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 52, 1193–1208.
- Eiglier, P., 2002. *Le service et sa servuction*. Centre d'études et de recherche sur les organisations et la gestion, Marseille.
- Eiglier, P., Langeard, E., 1987. *Servuction : le marketing des services*. McGraw-Hill, New York.
- El Korchi, A., SAMUEL, M.K.E., SIRJEAN, M.S., 2010. Conditions stratégiques d'émergence d'une reverse supply chain à des fins de remanufacturing chez le fabricant d'origine. Aix Marseille 2.
- Ferber J., 1997. La modélisation multi-agents : un outil d'aide à l'analyse de phénomènes complexes, Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement, Journées du Programme Environnement. Vie et Société du CNRS.
- Ferber, J., 1999. *Multiagent Systems, an Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Boston.
- Fishwick, P., 1994. Computer Simulation: Growth Through Extension. *Transactions of the Society for Computer Simulation International* 14, 13–23.
- Fitzsimmons, J.A., 1973. A Methodology for Emergency Ambulance Deployment. *Management Science* 19, 627–636.
- Forrester, J.W., 1958. Industrial Dynamics: a Major Breakthrough for Decision Makers. *Harvard Business Review* 36, 37–66.
- Frantz, F.K., 1995. A taxonomy of model abstraction techniques, in: *Winter Simulation Conference*. Presented at the Winter Simulation Conference, Virginia, p. 1413-1420.
- Frein, Y., 1998. Evaluation de performances pour la conception de flux, Université d'été du Pôle Productique. Rhône-Alpes.
- Furrer, O., 1997. Le rôle stratégique des « services autour des produits ». *Revue française de gestion* 113, 99–108.
- Gadrey, J., 1988. Des facteurs de croissance des services aux rapports sociaux de service. *rei* 43, 34–48.
- Gadrey, J., 1992. *L'économie des services. La découverte*, Paris.
- Gao, J., Yao, Y., Zhu, V.C.Y., Sun, L., Lin, L., 2011. Service-oriented manufacturing: a new product pattern and manufacturing paradigm. *J Intell Manuf* 22, 435–446.
- Gebauer, H., Edvardsson, B., Gustafsson, A., Witell, L., 2010. Match or Mismatch: Strategy-Structure Configurations in the Service Business of Manufacturing Companies. *Journal of Service Research* 13, 198–215.
- Gebauer, H., Friedli, T., Fleisch, E., 2006. Success factors for achieving high service revenues in manufacturing companies. *Benchmarking: An International Journal* 13, 374–386.
- Geoffrey, G., 1978. *System simulation*. Prentice-Hall.
- Giard, V., 2003. *Gestion de la production et des flux*. Economica, Paris.
- Giard, V., Balin, S., 2007. *La qualité des services et leurs processus de production*.
- Giard, V., Baptiste, P., Haït, A., Soumis, F., 2005. *Gestion de production et ressources humaines: méthodes de planification dans les systèmes productifs*. Presses Internationales Polytechnique, Paris.
- Giard Vincent, 2005. *Ingenierie de services*. Economica, Paris.
- Giarini, O., 1981. Dialogue sur la richesse et le bien-être. *Politique étrangère* 46, 741–742.
- Giarini, O., Stahel, W.R., 1989. *The Limits to Certainty: Facing Risks in the New Service*

- Economy, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. ed.
- Gleick, J., 2008. *La théorie du chaos: vers une nouvelle science*. Flammarion.
- Goedkoop, M.J., van Halen, C.J., te Riele, H.R., Rommens, P.J., 1999. *Product Service systems, Ecological and Economic Basics*.
- Gokula, A., Romana, H., Mehmet, C., Rajkumar, R., Stephen, E., Ashutosh, T., 2010. *An Ontology for Product-Service Systems*. Cranfield University, Cranfield.
- Gordon, G., 1978. *System simulation*. Prentice-Hall.
- Goupy, J., Creighton, L., 2009. *Introduction aux plans d'expériences*. Dunod, Paris.
- Greening, L.A., Greene, D.L., Difiglio, C., 2000. Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey. *Energy Policy* 28, 389–401.
- Grenelle, D.L., 2008. *Rapport final au Ministre d'Etat, Ministre de l'Energie, de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire présenté par Jean-Martin Folz (Chantier n°31 R Groupe d'étude Economie de Fonctionnalité No. étude d'Ernst et Young)*.
- Grönroos, C., 2000. *Service Management and Marketing: A Customer Relationship Management Approach*. Wiley, New Jersey.
- Grönroos, C., 2007. *Service Management and Marketing: Customer Management in Service Competition, Édition : 3rd Edition*. ed. John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, England; Hoboken, NJ.
- Gruber, T.R., 1993. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition* 5, 199–220.
- Gupta, P., Bazargan, M., McGrath, R.N., 2003. Simulation model for aircraft line maintenance planning, in: *Reliability and Maintainability Symposium, 2003. Annual. IEEE*, pp. 387–391.
- Habchi, G., 2001. *Conceptualisation et Modélisation pour la Simulation des Systèmes de Production*.
- Hara, T., Arai, T., Shimomura, Y., Sakao, T., 2009. Service CAD system to integrate product and human activity for total value. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Life Cycle Engineering* 1, 262–271.
- Hart, C.W.L., 1988. *The Power of Unconditional Service Guarantees*. Harvard Business School Pub. Division.
- Haynsworth, H.C., Lyons, R.T., 1987. Remanufacturing by Design, *The Missing Link. Production and Inventory Management Journal* 24–39.
- Haywood-Farmer, J., Nollet, J., 1991. *Services Plus: Effective Service Management*. Gaetan Morin.
- Heineke, J., Davis, M.M., 2007. The emergence of service operations management as an academic discipline. *Journal of Operations Management, Special Issue Evolution of the Field of Operations Management SI/ Special Issue Organisation Theory and Supply Chain Management* 25, 364–374.
- Hertwich, E.G., 2005. Consumption and the Rebound Effect: An Industrial Ecology Perspective. *Journal of Industrial Ecology* 9, 85–98.
- Heskett, J.L., 1986. *Managing in the Service Economy*. Harvard Business Press, Boston.
- Heskett, J.L., Jones, T.O., Loveman, G.W., Sasser, W.E., Schlesinger, L.A., 1994. Putting the Service-Profit Chain to Work. *Harvard Business Review* 72, 164–174.
- Heskett, J.L., Sasser, W.E., Schlesinger, L.A., 1997. *The Service Profit Chain*. Simon and Schuster, New York.
- Hilborn, R., Mangel, M., 1997. *The Ecological Detective: Confronting Models with Data*, Princeton University Press. ed. New Jersey.
- Hill, D.R.C., 1993. *Analyse orientée objets & modélisation par simulation*. Addison-Wesley France, France.

- Hill, T.P., 1977. On Goods and Services. *Review of Income and Wealth* 23, 315–338.
- Hirschl, B., Konrad, W., Scholl, G., 2003. New concepts in product use for sustainable consumption. *Journal of Cleaner Production, Product Service Systems and Sustainable Consumption* 11, 873–881.
- Hollard, M., 1994. *Génie industriel : les enjeux économiques*.
- Holmström, J., Jr, W.E.H., Eloranta, E., Vasara, A., 1999. Using Value Reengineering to Implement Breakthrough Solutions for Customers. *International Journal of Logistics Management, The* 10, 1–12.
- Hu, G., Wang, L., Bidanda, B., Wang, Y., 2007. A New Model for Closed-loop Product Lifecycle Systems, in: *Industrial Engineering Research Conference*. Presented at the Industrial Engineering Research Conference, pp. 1660–1665.
- IfM, (University of Cambridge Institute for Manufacturing), IBM, (International Business Machines Corporation), 2007. *Succeeding through Service Innovation: Recommendations for Education, Business and Policy*.
- Jacobsson, -Nicholas, 2000. *Emerging Product Strategies: Selling Services of Remanufactured Products*. International Institute Industrial Environmental Economics, Sweden.
- Jagtap, S., Johnson, A., 2011. In-service information required by engineering designers, in: *Research in Engineering Design*. pp. 207–221.
- Johnson, M., Mena, C., 2008. Supply chain management for servitised products: A multi-industry case study. *International Journal of Production Economics, Special Section on Competitive Advantage through Global Supply Chains* 114, 27–39. doi:10.1016/j.ijpe.2007.09.011
- Johnstone, S., Dainty, A., Wilkinson, A., 2008. In search of “product-service”: evidence from aerospace, construction, and engineering. *The Service Industries Journal* 28, 861–875.
- Johnstone, S., Dainty, A., Wilkinson, A., 2009. Integrating products and services through life: an aerospace experience. *International Journal of Operations & Production Management* 29, 520–538.
- Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Sturrock, D.T., 2004. *Simulation with Arena*. McGraw-Hill Higher Education, New York.
- Keraudy, F., Pelletier, M., 2004. *La rentabilité des offres combinées produit/service dans les entreprises industrielles françaises*.
- Kim, Y.S., Wang, E., Lee, S.W., Cho, Y.C., 2009. *A Product-Service System Representation and Its Application in a Concept Design Scenario*. Cranfield University Press, Cranfield.
- Kingman-Brundage, J., 1989. The ABCs of service system blueprinting, in: *Designing a Winning Service Strategy*,. Presented at the American Marketing Association, Prentice-Hall, Chicago.
- Komoto, H., Tomiyama, T., 2008. Integration of a service CAD and a life cycle simulator. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 57, 9–12.
- Komoto, H., Tomiyama, T., Nagel, M., Silvester, S., Brezet, H., 2005. Life Cycle Simulation for Analyzing Product Service Systems, in: *Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*. Presented at the Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, pp. 386–393.
- Kotler, P., 1967. *Marketing Management: Analysis, Planning, and Control*. Prentice-Hall, London.
- Kotler, P., 1999. *Marketing Management: Millennium Edition*, 10 edition. ed. Prentice Hall, London.
- Kowalkowski, C., 2008. *Managing the Industrial Service Function (dissertation)*. Linköping, Linköping.

- Kowalkowski, C., Kindström, D., Brehmer, P.-O., 2011. Managing industrial service offerings in global business markets. *Journal of Business & Industrial Marketing* 26, 181–192.
- Krikke, H.R., van Harten, A., Schuur, P.C., 1998. On a medium term product recovery and disposal strategy for durable assembly products. *International Journal of Production Research* 36, 111–140.
- Kumazawa, T., Kobayashi, H., 2006. A simulation system to support the establishment of circulated business. *Advanced Engineering Informatics, Engineering Informatics for Eco-Design* 20, 127–136.
- Lagaronne, C., Ramus, V., Gallardo, E., Zaeh, F., 2003. Orientation service –Entreprises : renforcez votre offre industrielle avec du service (note de synthèse rédigée pour le Ministère de L’Economie des Finances et de l’Industrie).
- Lee, E.A., 2002. Embedded Software. *Advances in Computers* 56.
- Le Fur, J., 1994. Dynamique du système pêche artisanale et intelligence artificielle : le projet MOPA. Paris.
- Le Moigne, J.-L., 1993. *Modelisation des systemes complexes*. Dunod, Paris.
- Le Moigne, J.L., 1994. *La théorie du système général : Théorie de la modélisation*. Presses Universitaires de France, Paris.
- Levitt, T., 1972. Production-Line Approach to Service. *Harvard Business Review* 50, 41–52.
- Levitt, T., 1976. The Industrialization of Service. *Harvard Business Review* 54, 63–74.
- Lewis, M., Howard, M., 2009. Beyond products and services: shifting value generation in the automotive supply chain. *International Journal of Automotive Technology and Management* 9, 4.
- Lindberg, N., Nordin, F., 2008. From products to services and back again: Towards a new service procurement logic. *Industrial Marketing Management, The Transition from Product to Service in Business Markets* 37, 292–300.
- Lopez-Ontiveros, M.A., 2004. Intégration des contraintes de remanufacturabilité en conception de produits.
- Lovelock, C., Gummesson, E., 2004. Whither Services Marketing? In Search of a New Paradigm and Fresh Perspectives. *Journal of Service Research* 7, 20–41.
- Lyonnet, P., 2006. *Ingénierie de la fiabilité*. Tec & Doc Lavoisier, Paris.
- Malleret, V., 2005. La Rentabilite Des Services Dans Les Entreprises Industrielles, Enquête Sur Un Postulat, in: *Congrès de l’AFAC*. Presented at the Congrès de l’AFAC, Lille.
- Malleret, V., 2006. Value Creation through Service Offers. *European Management Journal* 24, 106–116.
- Manzini E, 1996. Sustainable product-services development. Pioneer industries on sustainable service.
- Marquès, G., 2010. Management des risques pour l’aide à la gestion de la collaboration au sein d’une chaîne logistique: une approche par simulation. Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT.
- Marquès, G., Chalal, M., Boucher, X., 2013. PSS Production Systems: A Simulation Approach for Change Management, in: Emmanouilidis, C., Taisch, M., Kiritsis, D. (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Competitive Manufacturing for Innovative Products and Services*, IFIP Advances in Information and Communication Technology. Rhodes, pp. 377–384.
- Martinez, V., Bastl, M., Kingston, J., Evans, S., 2010. Challenges in transforming manufacturing organisations into product-service providers. *Journal of Manufacturing Technology Management* 21, 449–469.
- Mathieu, V., 2001. Service strategies within the manufacturing sector: benefits, costs and partnership. *International Journal of Service Industry Management* 12, 451–475.

- Maussang-Detaille, N., 2008. *Méthodologie de conception pour les systèmes produits-services*. Grenoble, INPG.
- Maussang, N., Sakao, T., Zwolinski, P., Brissaud, D., others, 2007. A model for designing product-service systems using functional analysis and agent based model, in: *International Conference on Engineering Design*. Presented at the International Conference on Engineering Design, Paris.
- Meier, H., Funke, B., 2010. Resource planning of industrial product-service systems (IPS²) by a heuristic resource planning approach, in: *Industrial Product Service System Conference*. Presented at the Industrial Product Service System Conference, Linköping, p. 339.
- Meier, H., Uhlmann, E., Raue, N., Dorka, T., 2013. Agile Scheduling and Control for Industrial Product-service Systems. *Procedia CIRP*, Eighth CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering 12, 330–335.
- Meijkamp, R., 2000. Changing consumer behaviour through eco-efficient services: an empirical study of car sharing in the Netherlands. *Business Strategy and the Environment* 7, 234–244.
- Menor, L.J., Roth, A.V., Mason, C.H., 2001. Agility in Retail Banking: A Numerical Taxonomy of Strategic Service Groups. *Manufacturing & Service Operations Management* 3, 273–292.
- Mien, L.H., Feng, L.W., Gay, R., Leng, K., 2005. An Integrated Manufacturing and Product Services System (IMPSS) Concept for Sustainable Product Development, in: *Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*. Presented at the Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, pp. 656–662.
- Millischer, L., 2000. *Modélisation individu centrée des comportements de recherche des navires de pêche (Thèse en Halieutique)*. ENS Agronomique de Rennes.
- Mont, O., 2001. Product-service system concept as a means of reaching sustainable consumption, in: *In Proceedings of the 7th European Roundtable on Cleaner Production*, 2-4 May 2001, Lund. p. 21.
- Mont, O.K., 2002. Clarifying the concept of product–service system. *Journal of Cleaner Production* 10, 237–245.
- Mont Oksana, 2000. *Product-service systems: final report*. The International Institute of Industrial Environmental Economic.
- Morelli, N., 2002. Designing Product/Service Systems: A Methodological Exploration I. *Design Issues* 18, 3–17.
- Morelli, N., 2006. Developing new product service systems (PSS): methodologies and operational tools. *Journal of Cleaner Production*, *Product Service Systems: reviewing achievements and refining the research agenda* 14, 1495–1501.
- Muzy, A., 2004. *Élaboration de modèles déterministes pour la simulation de systèmes spatiaux complexes : application à la propagation des feux de forêt (Thèse en Informatique)*. Université de Corse.
- Nagi, G., 1991. *Design and operation of hierarchical production manufacturing systems*. University of Maryland, USA.
- Nagle, T.T., Holden, R.K., 1995. *The Strategy and Tactics of Pricing: A Guide to Profitable Decision Making*. Prentice Hall PTR.
- Neely, A., 2007. The Servitization of Manufacturing: an Analysis of Global Trends, in: *14th European Operations Management Association*. Ankara.
- Neely, A., 2008. Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing. *Oper Manag Res* 1, 103–118.
- Nelson, J., 2011. *Contribution à l'analyse prospective des usages dans les projets*

- d'innovation. Arts et Métiers ParisTech.
- Nicolaidis, K., Bressand, A., 1988. Les services au cœur de l'économie relationnelle. *Revue d'économie industrielle* 43, 141–163.
- Nordin, F., 2006. Outsourcing services in turbulent contexts. *Leadership & Org Development J* 27, 296–315. doi:10.1108/01437730610666046
- Oliva, R., Kallenberg, R., 2003. Managing the transition from products to services. *International Journal of Service Industry Management* 14, 160–172.
- Östlin, J., Sundin, E., Björkman, M., 2009. Product life-cycle implications for remanufacturing strategies. *Journal of Cleaner Production* 17, 999–1009.
- Parunak, H.V.D., 1998. The DASCh Experience: How to Model a Supply Chain.
- Paul, R.J., 1991. Recent Developments in Simulation Modelling. *The Journal of the Operational Research Society* 42, 217.
- Pawar, K.S., Beltagui, A., Riedel, J.C.K.H., 2009. The PSO triangle: designing product, service and organisation to create value. *International Journal of Operations & Production Management* 29, 468–493.
- Pellegrin, C., Peillon, S., Burlat, P., 2011. Caractérisation d'un système de production orienté service (SP-OS) dans un contexte de servicisation, in: 9e Congrès International de Génie Industriel. Presented at the 9e Congrès International de Génie Industriel.
- Philippe Zarifian, 1999. Objectif compétence. Pour une nouvelle logique. Éditions Liaisons, Paris.
- Phumbua, S., 2012. Simulation modelling of service contracts within the context of Product-Service Systems (PSS). Cranfield.
- Phumbua, S., Tjahjono, B., 2010. Simulation Modelling of Product-Service Systems: the Missing Link, in: Hinduja, S., Li, L. (Eds.), *Proceedings of the 36th International MATADOR Conference*. Springer London, pp. 135–138.
- Phumbua, S., Tjahjono, B., 2012. Towards product-service systems modelling: a quest for dynamic behaviour and model parameters. *International Journal of Production Research* 50, 425–442.
- Pierre Baranger, Godefroy Dang Nguyen, Yvan Leray, Olivier Mével, 2009. *Le management Opérationnel des Services*. Economica, Paris.
- Ping, W.L., Jia, F., 2010. Analysis on supply chain of manufacturing enterprise product service system, in: *International Conference on Emergency Management and Management Sciences (ICEMMS)*. Presented at the International Conference on Emergency Management and Management Sciences (ICEMMS), Beijing, pp. 126–129.
- Popper, K., 1972. *La Connaissance objective*. Edition Complexe, Bruxelles.
- Pourcel, C., Gourc, D., 2005. *Modélisation d'entreprise par les processus: activités, organisation & applications*. Editions Cépaduès.
- Pritsker, A.A.B., 1984. *Introduction to Simulation and SLAM II (2Nd Ed.)*. Halsted Press, New York, NY, USA.
- Ren, G., Gregory, M., 2007. *Servitization in Manufacturing Companies, Literature Review*.
- Riddle, D.I., 1986. Service-led growth. *International Business Review* 28, 27–28.
- Robinson, T., Clarke-Hill, C.M., Clarkson, R., 2002. Differentiation through Service: A Perspective from the Commodity Chemicals Sector. *The Service Industries Journal* 22, 149–166.
- Roche, C., 2005. Terminologie et ontologie. *Langages* 39, 48–62.
- Rodde, G., 1989. *Les systèmes de production: Modélisation et performances*. Hermès, Paris.
- Rodde, G., 1991. *Les systèmes de production: Modélisation et performances*. Hermes Sciences Publicat., Paris.
- Roth, A.V., Gray, A.E., Singhal, J., Singhal, K., 1997. *International Technology and*

- Operations Management: Resource Toolkit for Research and Teaching. *Production and Operations Management* 6, 167–187.
- Roth, A.V., Menor, L.J., 2003. Insights into Service Operations Management: A Research Agenda. *Production and Operations Management* 12, 145–164.
- Rothenberg, J., 1986. Object-oriented Simulation: Where Do We Go from Here?, in: *Winter Simulation Conference*. New York, NY, USA, pp. 464–469.
- Roy, R., Cheruvu, K.S., 2009. A competitive framework for industrial product-service systems. *International Journal of Internet Manufacturing and Services* 2, 4–29.
- Saadoun, M., 2000. *Technologies de l'information et management*. Hermès Science Publication, Paris.
- Said, M., 1989. *Un système de gestion intégrale de la qualité en matière des services industriels*. Paris 12, Val de Marne.
- Sakao, T., Shimomura, Y., 2007. Service Engineering: a novel engineering discipline for producers to increase value combining service and product. *Journal of Cleaner Production* 15, 590–604.
- Sargent, R.G., 1984. A Tutorial on Verification and Validation of Simulation Models, in: *Winter Simulation Conference, WSC '84*. Presented at the Winter Simulation Conference, Piscataway, NJ, USA, pp. 114–121.
- Sargent, R.G., 2000. Verification, validation and accreditation of simulation models, in: *Winter Simulation Conference*. Presented at the Winter Simulation Conference, pp. 50–59 vol.1.
- Sasser, W.E., 1976. Match Supply and Demand in Service Industries. *Harvard Business Review* 54, 133–140.
- Sasser, W.E., Olsen, R.P., Wyckoff, D.D., Administration, H.U.G.S. of B., 1978. *Management of service operations: text, cases, and readings*. Allyn and Bacon, Boston.
- Schlesinger, L.A., Heskett, J.L., 1991. The Service-Driven Service Company. *Harvard Business Review* 69, 71–81.
- Schmenner, R.W., 2009. Manufacturing, service, and their integration: some history and theory. *International Journal of Operations & Production Management* 29, 431–443.
- Shannon, R.E., 1975. *Systems simulation: the art and science*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Shannon, R.E., 1998. Introduction to the art and science of simulation, in: *Winter Simulation Conference*. Presented at the Winter Simulation Conference, pp. 7–14.
- Shen, H., Wall, B., Zaremba, M., Chen, Y., Browne, J., 2004. Integration of business modelling methods for enterprise information system analysis and user requirements gathering. *Computers in Industry* 54, 307–323.
- Shen, J., Wang, L., 2007. A New Perspective and Representation of Service, in: *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007*. Presented at the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. *WiCom 2007*, pp. 3176–3179.
- Shostack, 1984. *Designing Services that Deliver*. Harvard Business School Reprint.
- Slack, N., Lewis, M., Bates, H., 2004. The two worlds of operations management research and practice: Can they meet, should they meet? *International Journal of Operations & Production Management* 24, 372–387.
- Snow, C.C., Miles, R.E., Coleman Jr., H.J., 1992. Managing 21st century network organizations. *Organizational Dynamics* 20, 5–20.
- Stahel, W.R., 1997. *The Functional Economy: Cultural and Organizational Change*. Presented at the *The Industrial Green Game: Implications for Environmental Design and Management*, National Academy Press, Washington DC, pp. 91–100.
- Stahel, W.R., 2006. *The Performance Economy*. Palgrave Macmillan.

- Steinhilper, R., 1998. *Remanufacturing The Ultimate Form of Recycling*. : Druckerei Hoffm, Allemagne.
- Stevenson, W.J., 2011. *Operations Management: Theory and Practice*. McGraw-Hill Higher Education, New York.
- Sundin, E., 2004. *Product and process design for successful remanufacturing*. Linköping University, Linköping.
- Takata, S., Kimura, T., 2003. Life Cycle Simulation System for Life Cycle Process Planning. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 52, 37–40.
- Tan, A.R., McAlloone, T., 2006. Characteristics of strategies in Product/Service System development, in: *The 9th International Design Conference*, Dubrovnik, Croatia. Dubrovnik, pp. 1435–1442.
- Teggar, M., 1996. *Modélisation et simulation des systèmes dynamiques hybrides continus, discrets et événementiels*.
- Terzi, S., Cavalieri, S., 2004. Simulation in the supply chain context: a survey. *Computers in Industry* 53, 3–16.
- Thiel, D., 1993. *Management industriel: une approche par la simulation*. Economica, Paris.
- Thierry, C., Thomas, A., Bel, G., 2008. *Simulation for Supply Chain Management*. Wiley.
- Thierry, M., 1997. *An analysis of the impact of product recovery management on manufacturing companies*. Rotterdam.
- Thoben, K.-D., Eschenbächer, J., Jagdev, H., 2001. Extended products: evolving traditional product concepts, in: *7th International Conference on Concurrent Enterprising*. Bremen.
- Tremblay, C., 2003. *Le droit - Modéliser*.
- Tukker, A., 2004. Eight types of product–service system: eight ways to sustainability? *Experiences from SusProNet*. *Business Strategy and the Environment* 13, 246–260.
- 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, Product Service Systems: reviewing achievements and refining the research agenda* 14, 1552–1556.
- Ulmer, J.-S., 2011. *Approche générique pour la modélisation et l’implémentation des processus*. Toulouse.
- Umeda, Y., Kondoh, S., Sugino, T., 2005. Proposal of “ Marginal Reuse Rate ” for Evaluating Reusability of Products, in: *International Conference on Engineering Design: Engineering Design*. Presented at the International Conference on Engineering Design: Engineering Design, Engineers Australia, Melbourne, p. 2403.
- Uschold, M., Jasper, R., 1999. *A Framework for Understanding and Classifying Ontology Applications*.
- Vandermerwe, S., Rada, J., 1988. Servitization of business: Adding value by adding services. *European Management Journal* 6, 314–324.
- Van Looy, B., Gemmel, P., Dierdonck, R., 2003. *Services Management: An Integrated Approach*. Pearson Education.
- Vargo, S.L., Lusch, R.F., 2004. Evolving to a New Dominant Logic for Marketing. *Journal of Marketing* 68, 1–17.
- Vargo, S.L., Lusch, R.F., 2008. Service-dominant logic: continuing the evolution. *Journal of the Academy of Marketing Science* 36, 1–10.
- Vernadat, F., 1999. *Techniques de modélisation en entreprise: applications aux processus opérationnels*. Économica, Paris.
- Vernadat, F., 2002. UEML: Towards a unified enterprise modelling language. *International Journal of Production Research* 40, 4309–4321.
- Vernadat, F., 2010. *Enterprise Modeling and Integration*. Chapman & hall, London.
- Visnjic, I., 2010. *Servitization: When is service oriented business model innovation*

effective?

- Wangphanich, P., 2011. Simulation model for quantifying the environmental impact and demand amplification of a Product-Service System (PSS), in: International Conference on Management Science and Industrial Engineering (MSIE). Presented at the International Conference on Management Science and Industrial Engineering (MSIE), Harbin, pp. 554–559.
- Weber, C., Steinbach, M., Botta, C., Deubel, T., 2004. Modelling of Product Service System (PSS) based on the PDD Approach. Presented at the International Design Conference, Ascona, pp. 547–554.
- Wijewickrama, A.K.A., Takakuwa, S., 2006. Simulation Analysis of an Outpatient Department of Internal Medicine in a University Hospital, in: Winter Simulation Conference. Presented at the Winter Simulation Conference, Monterey, pp. 425–432.
- Windahl, C., Lakemond, N., 2006. Developing integrated solutions: The importance of relationships within the network. *Industrial Marketing Management*, IMP 2005: Dealing with Dualities 35, 806–818.
- Wise, R., Baumgartner, P., 1999. Go Downstream: The New Profit Imperative in Manufacturing. *Harvard Business Review* 77, 133–141.
- Witt, R.R., Solomon, M.M., 1989. US Electronic Components Distribution and Value-added Services. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 19, 24–30.
- Wyckoff, D.D., 1984. New Tools for Achieving Service Quality. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly* 25, 78–91.
- Yang, L., Xing, K., Lee, S., 2010. Framework for PSS from Service ' Perspective, in: The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. Presented at the The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong, pp. 1656–1661.
- Zarifian, P., 2001. La Valeur de Service, in: *L'émergence D'un Modèle Du Service : Enjeux et Réalités*. Philippe Zarifian & Jean Gadrey, Paris.
- Zeigler, B.P., 1972. Toward a Formal Theory of Modeling and Simulation: Structure Preserving Morphisms. *JACM* 19, 742–764.
- Zeigler, B.P., Praehofer, H., Kim, T.G., more, & 1, 2000. *Theory of Modeling and Simulation*, Second Edition, 2 edition. ed. Academic Press, Fribourg.

Annexe 1 : Description des processus du simulateur

1 Notions de base de la simulation sur le logiciel SIMAN-ARENA

1.1 Présentation du logiciel SIMAN-ARENA

ARENA est un outil de simulation à événements discrets. Il est constitué d'un ensemble de blocs aux fonctions variées. Ces blocs sont interconnectés directement ou indirectement par des connexions logiques. Le logiciel ARENA est largement utilisé pour la représentation et la simulation des systèmes manufacturiers et offre différents niveaux de complexité. Le logiciel de simulation ARENA intègre également la programmation VBA et C/C++. L'utilisation de la programmation permet d'améliorer la flexibilité d'ARENA.

1.2 Structure d'un modèle SIMAN-ARENA :

Un module de simulation sous ARENA matérialise un changement d'état du système, il reçoit en entrée une ou plusieurs entités (pièces, informations,...), en sortie le bloc délivre des entités transformées par sa fonction caractéristique. Un modèle (ou programme) Arena est sauvegardé dans un fichier « .deo ». Ce fichier est constitué de deux parties différentes :

- La partie modèle représentant les différents blocs fonctionnels, le cheminement des entités dans le système. Ce modèle décrit ainsi les caractéristiques statiques et dynamiques des différents blocs fonctionnels.
- La partie expérimentale regroupant les paramètres spécifiques à une simulation (conditions initiales, durée de la simulation, capacité des files d'attente, nombre de ressources,...).

Les entités circulant dans le système traversent uniquement la partie modèle (blocs fonctionnels). Elles doivent être créées, transformées puis détruites.

1.3 Transfert des entités :

Les entités dans le modèle de simulation circulent d'une manière directe, d'un bloc fonctionnel à un autre par une connexion directe entre ces blocs. C'est la méthode la plus largement utilisée. Toutefois, dans certains systèmes complexes, la circulation est assurée d'une manière indirecte en créant des sous-modèles et en utilisant des blocs fonctionnels particuliers tels que « Route », « Station » et « Transfert ». Les entités entrent ainsi dans le sous-modèle par un bloc « Station » puis le quittent par un bloc « Route » qui assure le transfert des entités vers une destination

déterminée. Un sous-modèle peut, par exemple, représenter un service (Livraison, Maintenance) ou un poste de travail.

Le principe de fonctionnement du logiciel ARENA est de suivre chacune des entités (de sa création à sa destruction) évoluant dans le système en passant d'un bloc fonctionnel vers un autre. Les blocs de bases pour les processus sont :

- **Create** : Ce bloc permet de créer des entités.
- **Assign** : Ce bloc permet de mettre de créer et de mettre à jours des attributs et variables.
- **Queue** : Ce bloc permet de mettre les entités dans une file d'attente et de spécifier la règle de gestion de la file d'attente.
- **Size** : Ce bloc permet d'allouer les ressources nécessaires (en quantité et en qualité) spécifiées pour traiter l'entité (généralement, le bloc size est suivi d'un bloc Assigne pour mettre à jours des attributs et variables).
- **Delay** : Ce bloc permet de retarder le passage d'entités et ainsi appliquer une certaine durée opératoire à l'entité.
- **Release** : Ce bloc permet de libérer les ressources retenues et allouées par le bloc size (après une durée spécifiée dans Delay).
- **Dispose** : Ce bloc permet la destruction des entités.

2 Mise en œuvre du processus de simulation :

Nous allons décrire les différents processus du modèle de simulation. Une vision globale permettant d'identifier les différents processus et leurs interactions est représentée sur la figure suivante. La figure présente l'articulation et la relation entre le système d'usage et le système productif.

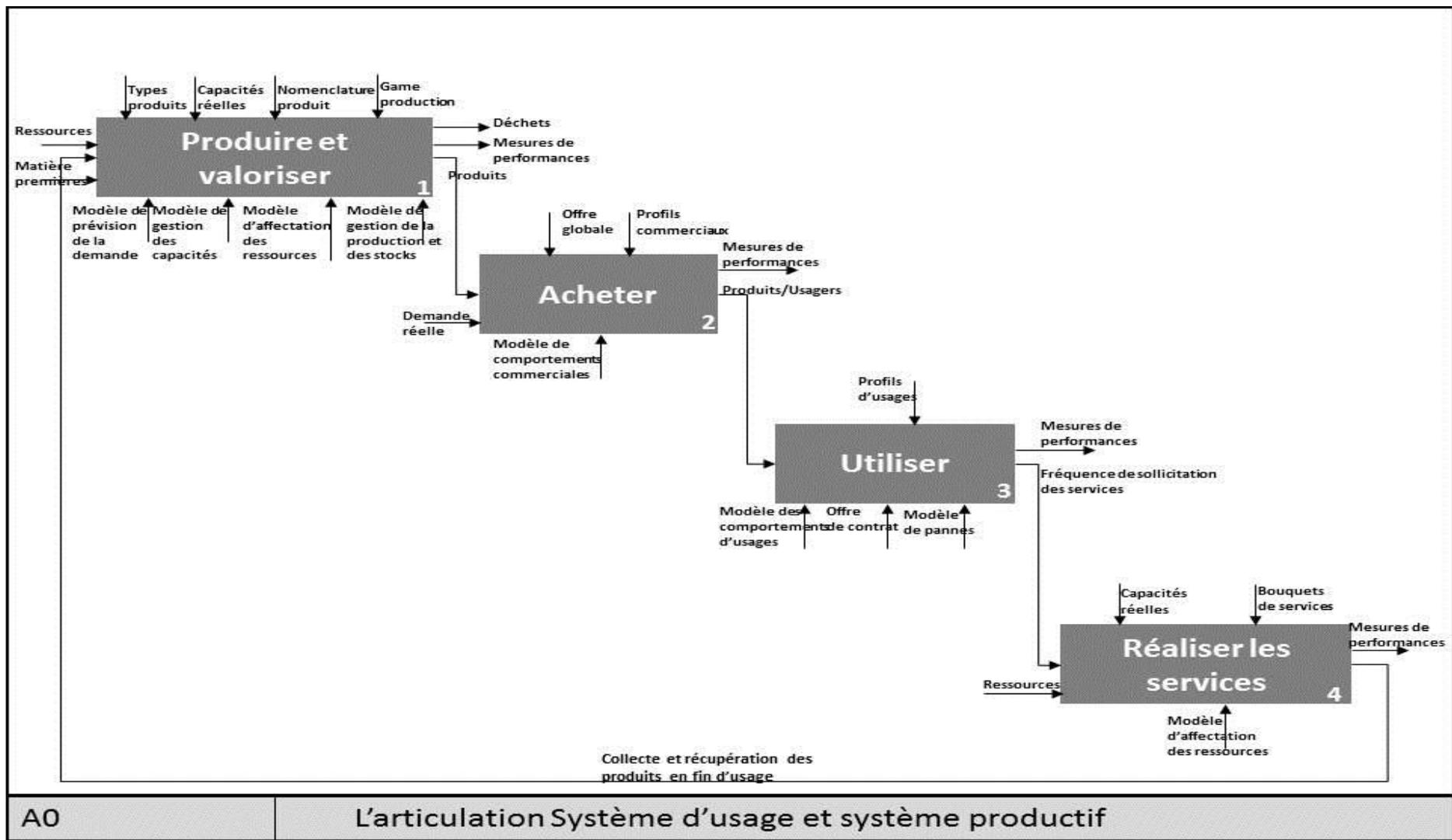


Figure 93 l'articulation entre le système d'usage et le système productif

Les données du problème sont essentiellement issues des hypothèses de gestion et des données liées au marché et l'entreprise. Sur Arena, il n'existe pas de variables « texte » possibles, le codage se fait sur des vecteurs. Nous avons défini le codage suivant pour la nomenclature et les stations du produit.

| Produit neuf | Code Station | Composant | Code Composant | Quantité de lien |
|-----------------------|--------------|------------------------------|---------------------------|------------------|
| A | 1 | | | |
| | 2 | | | |
| C | 3 | | | |
| SE | 4 | B - C | 2 - 3 | 1 - 1 |
| X | 5 | A - SE | 1 - 4 | 1 - 1 |
| P | 6 | X | 5 | 1 |
| Produit remanufacturé | Code n° | Composant | Code Composant | Quantité de lien |
| A' | 11 | | | |
| B' | 12 | | | |
| C' | 13 | | | |
| SE' | 14 | B' - C' / B - C' / B' - C | 12 - 13 / 2 - 13 / 12 - 3 | 1 - 1 |
| X' | 15 | A' - SE' / A' - SE / A - SE' | 11 - 14 / 11 - 4 / 1 - 14 | 1 - 1 |
| P' | 16 | X' X | 15 5 | 1 |

Tableau 44 Codage de la nomenclature du produit et les différentes stations

3 Description des différents processus

3.1 Processus de réception et de collecte

Les processus de réception et de collecte (Figure 94) l'alimentation des stocks en composants neufs A, B et C (voir nomenclature du produit neuf) et en produits collectés à travers les différents points de collectes (déchetterie...).

L'alimentation en composants neufs se fait à travers la lecture d'un fichier texte « OA.txt ». Ce dernier est généré automatiquement par rapport aux paramètres et les valeurs prises par les facteurs d'expérience dans le processus de planification.

Une mise à jour de la charge liée au service collecte est effectuée, et le processus de collecte renvoie vers le processus de tri.

3.2 Processus de lancement:

Le processus de lancement (Figure 95) permet de vérifier la disponibilité des stocks pour chaque processus (Production, Remanufacturing).

Dans le cas où les stocks A' , B' , C' ne sont plus disponibles, un remplacement de ces produits par des produits neufs est possible. Nous calculons ainsi le nombre de composants de moyenne qualité remplacés par des produits neufs.

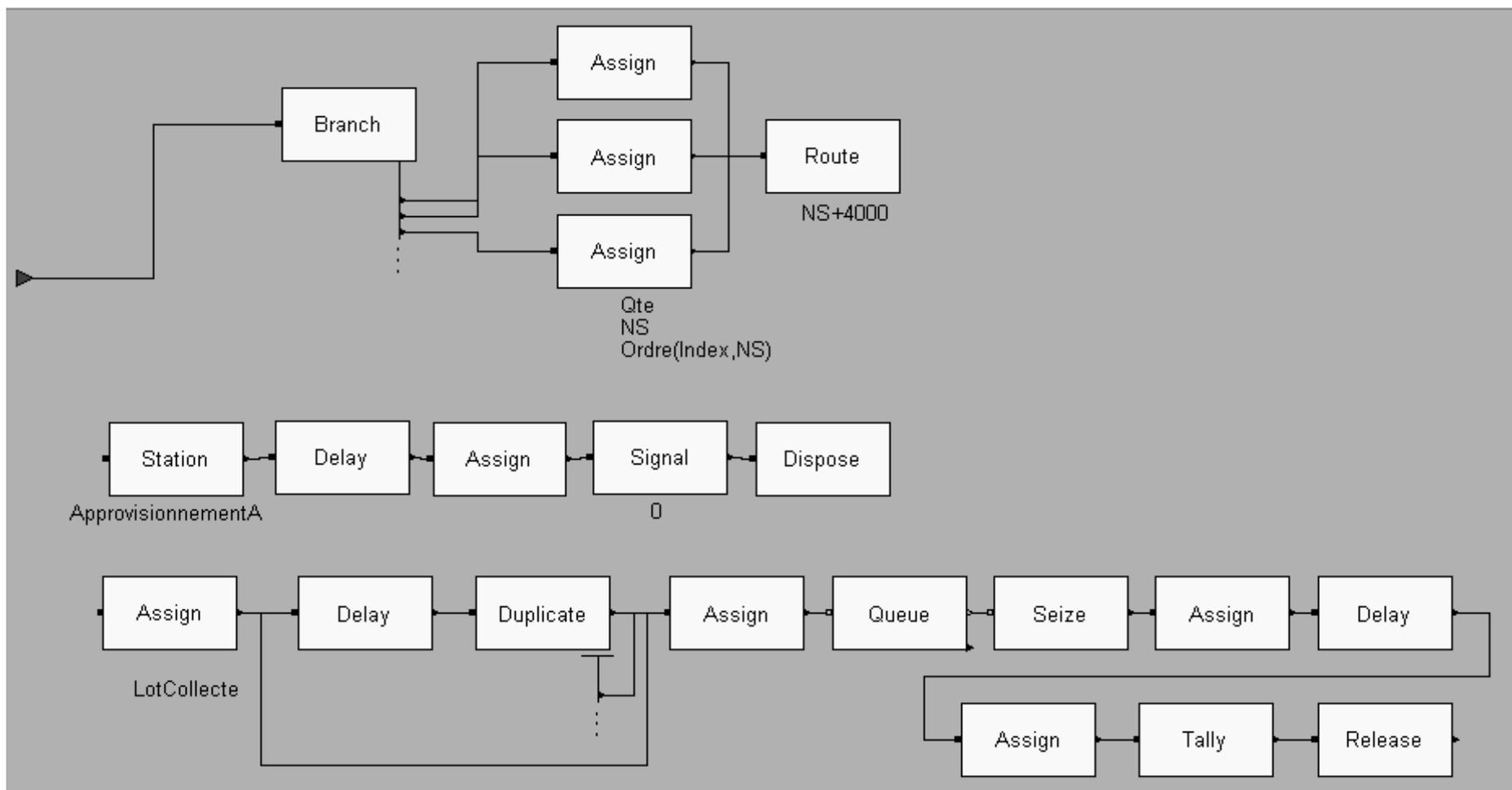


Figure 94 Processus de réception et de collecte

3.3 Processus de Production/Désassemblage

Ce processus permet de produire des produits neufs PF1 et PF2 et le désassemblage des produits collectés et récupérés. La vérification à la fois de la disponibilité des stocks et des ressources est effectuée après chaque processus.

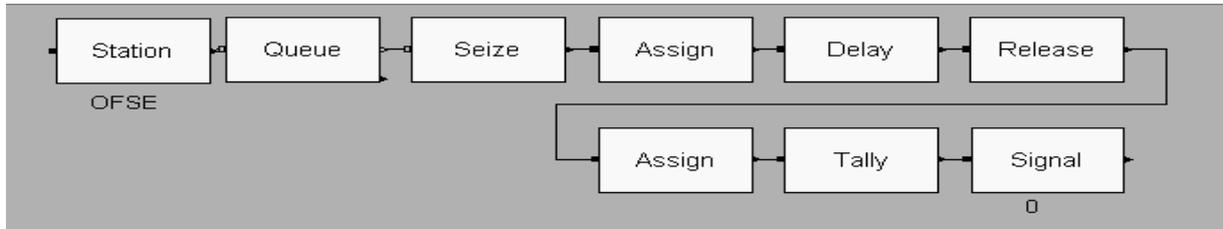


Figure 96 Processus de production (PF1 et PF2)

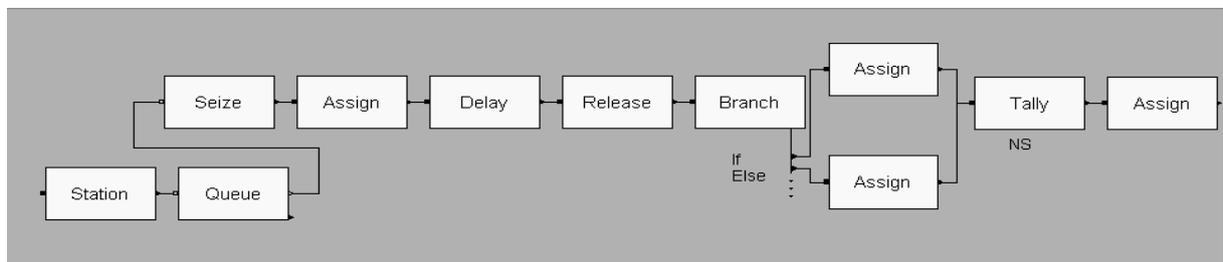


Figure 97 Processus de désassemblage

3.4 Processus de cession de produit :

Ce processus permet l'éclatement de la demande globale en une demande en PSS et une demande en vente classique. Dans le cas de la vente classique, un éclatement sur l'ensemble des offres de service est fait également réalisée pour différencier les clients sur le type de produit et sur le type de service.

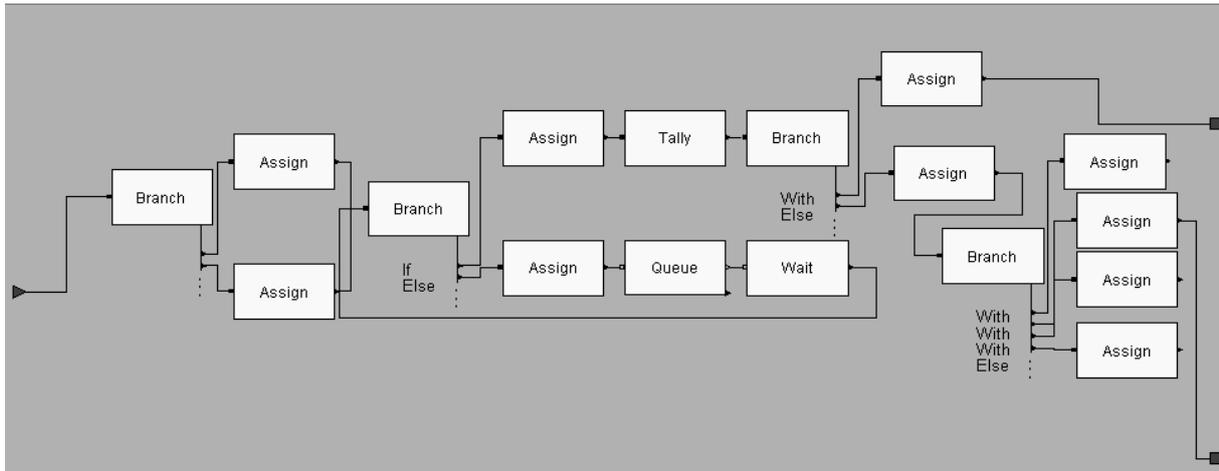


Figure 98 Processus de cessions de produit

3.5 Processus de comportement commercial :

Pour les clients ayant choisi le PSS, une définition à la fois de leur profil commercial et de leur attirance pour chaque offre PSS permettra l'éclatement de la demande sur les différents types de contrat PSS. Par la suite, une définition du profil d'usage permettra d'avoir, pour chaque client (représenté par les entités) des attributs qui permettront de suivre son usage du produit.

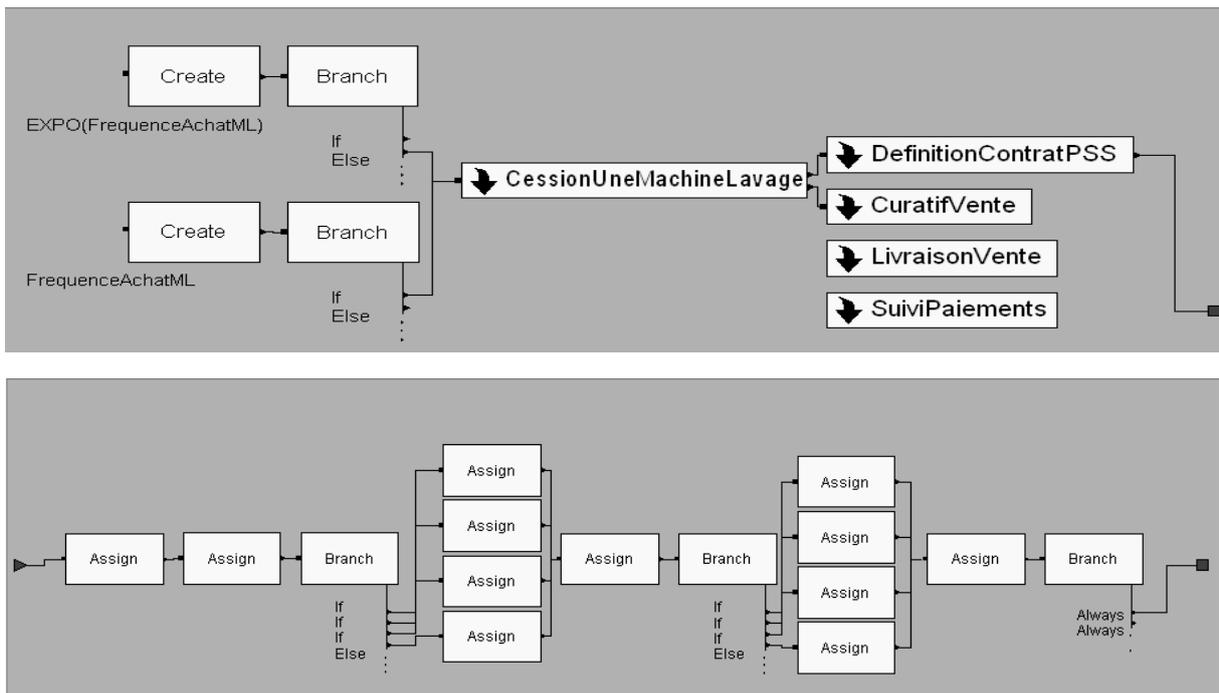


Figure 99 Processus de comportement commercial

3.6 Processus de livraison

Le processus de livraison s'effectue si une ressource est disponible. Nous avons modélisé deux types de livraisons : livraison cas vente traditionnel et livraison cas contrats PSS.

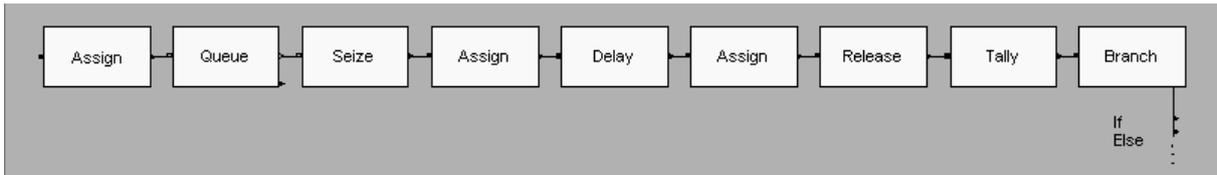


Figure 100 Processus de livraison dans le cas de la vente classique

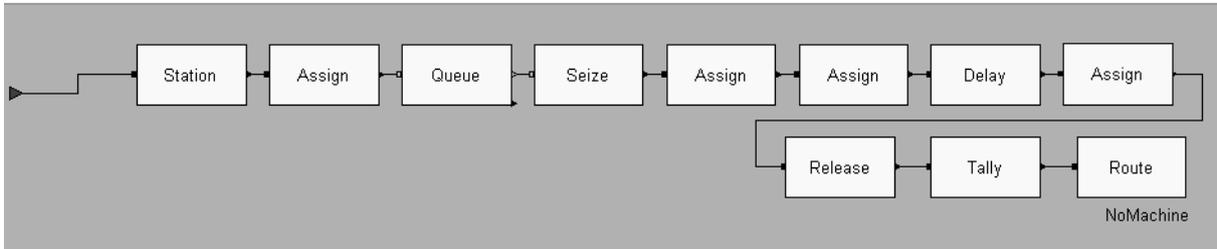


Figure 101 Processus de livraison dans le cas d'offres de contrats PSS

3.7 Processus d'intervention maintenance :

Le processus d'intervention maintenance s'effectue si une ressource est disponible. Nous avons modélisé deux types d'intervention: intervention dans le cas de la vente traditionnelle et une intervention dans le cas de contrats PSS.

Dans le cas vente, les interventions sont modélisées pour permettre de répondre à des pannes moyennes sur une période (1 ans). Le nombre de panne dépend du type de produit.

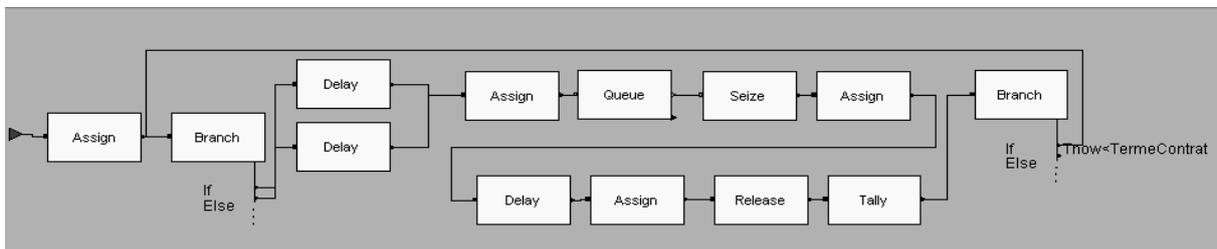


Figure 102 Processus de maintenance dans le cas de la vente classique

Dans le cas des contrats PSS, les interventions sont modélisées à travers deux processus interdépendants. Le processus d'utilisation du produit et le processus de générations de panne.

Le processus d'utilisation du produit permet de suivre la manière dont le produit est utilisé (en besoin fonctionnel, en comportement des usagers face au produit) et mettre à jour l'âge et l'usure du produit, et donc la MTBF.

Le processus de génération de panne permet, à travers les caractéristiques et comportements d'usage du client et l'usure du produit, de reproduire les instants de pannes du produit (à travers la MTBF et la courbe de fiabilité des produits). Une fois la panne générée, le produit n'est pas fonctionnel jusqu'à ce qu'une intervention maintenance curative soit faite.

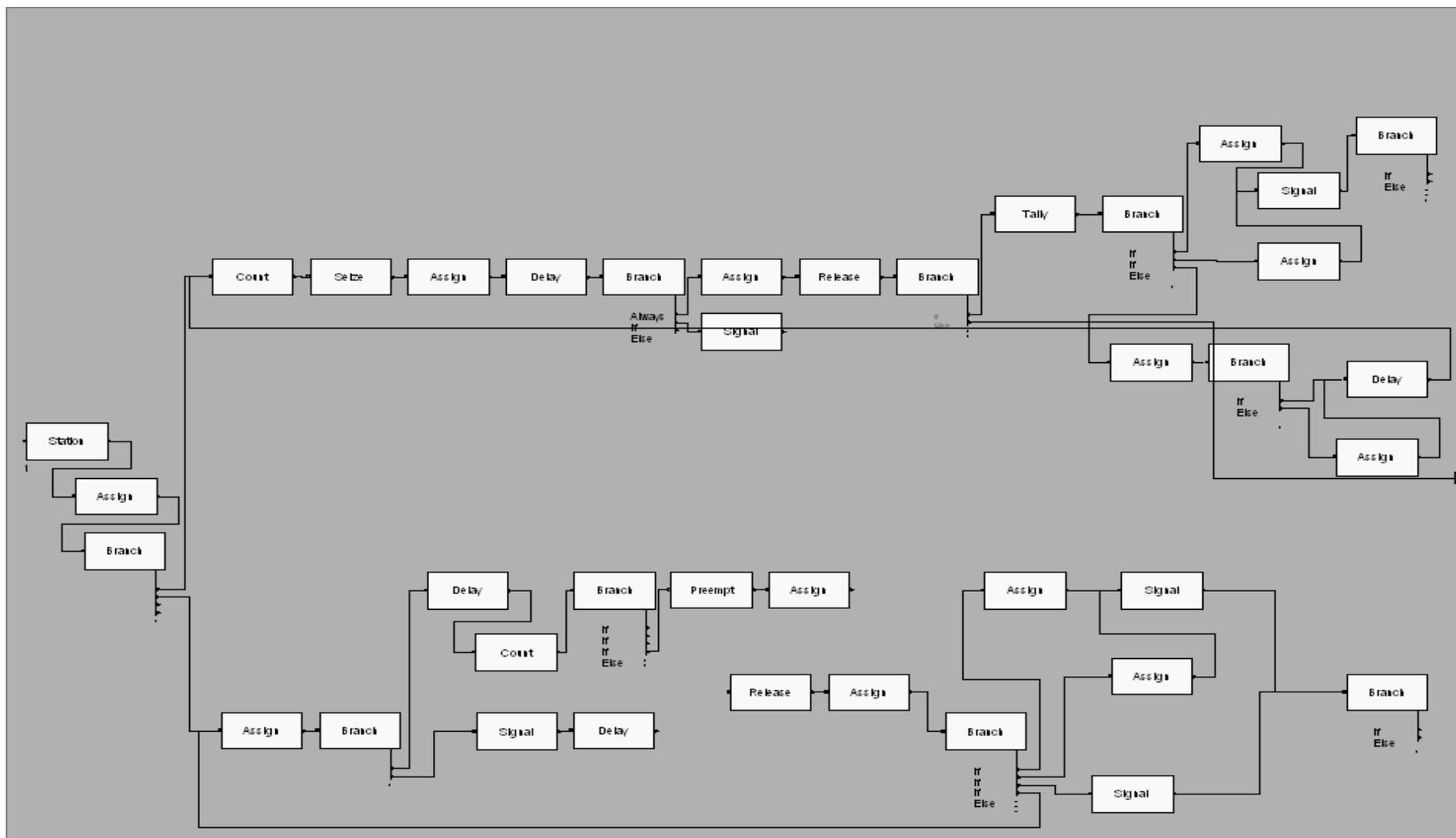


Figure 103 Processus d'usage (utilisation du produit et génération de panne) dans le cas PSS

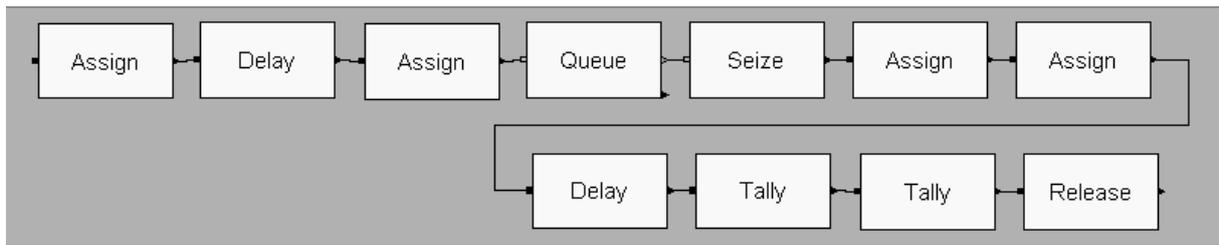


Figure 104 Processus maintenance curative dans le cas d'offres de contrats PSS

3.8 Processus maintenance préventive

Ce processus modélise la maintenance préventive pour les clients ayant choisi l'offre PSS avec un bouquet de services permettant d'avoir une maintenance préventive régulière. Nous avons aussi modélisé l'impact de cette maintenance sur l'âge et l'usure du produit (à travers l'introduction du coefficient de Jack « voir annexe sur notions utiles »). Les entités quittent le processus à la fin du contrat ou dans le cas de rupture de contrat par le client (pour non-respect des garanties de service) ou l'entreprise (pour non-paiement).

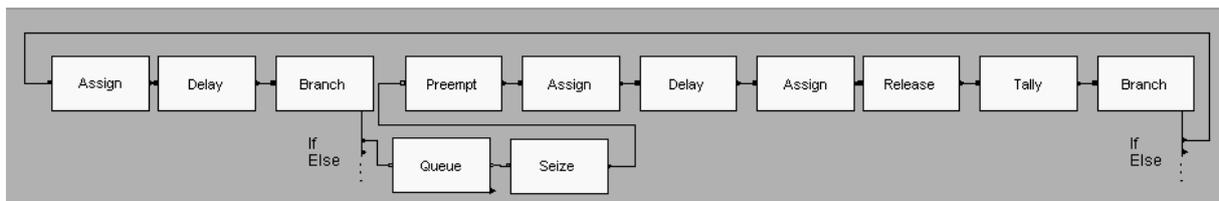


Figure 105 Processus de maintenance préventive

3.9 Processus de tri

Le processus de tri permet de récupérer un produit, un module ou un composant. Dans le modèle de simulation, le résultat du tri dépend des caractéristiques des produits en usage et des comportements des clients.

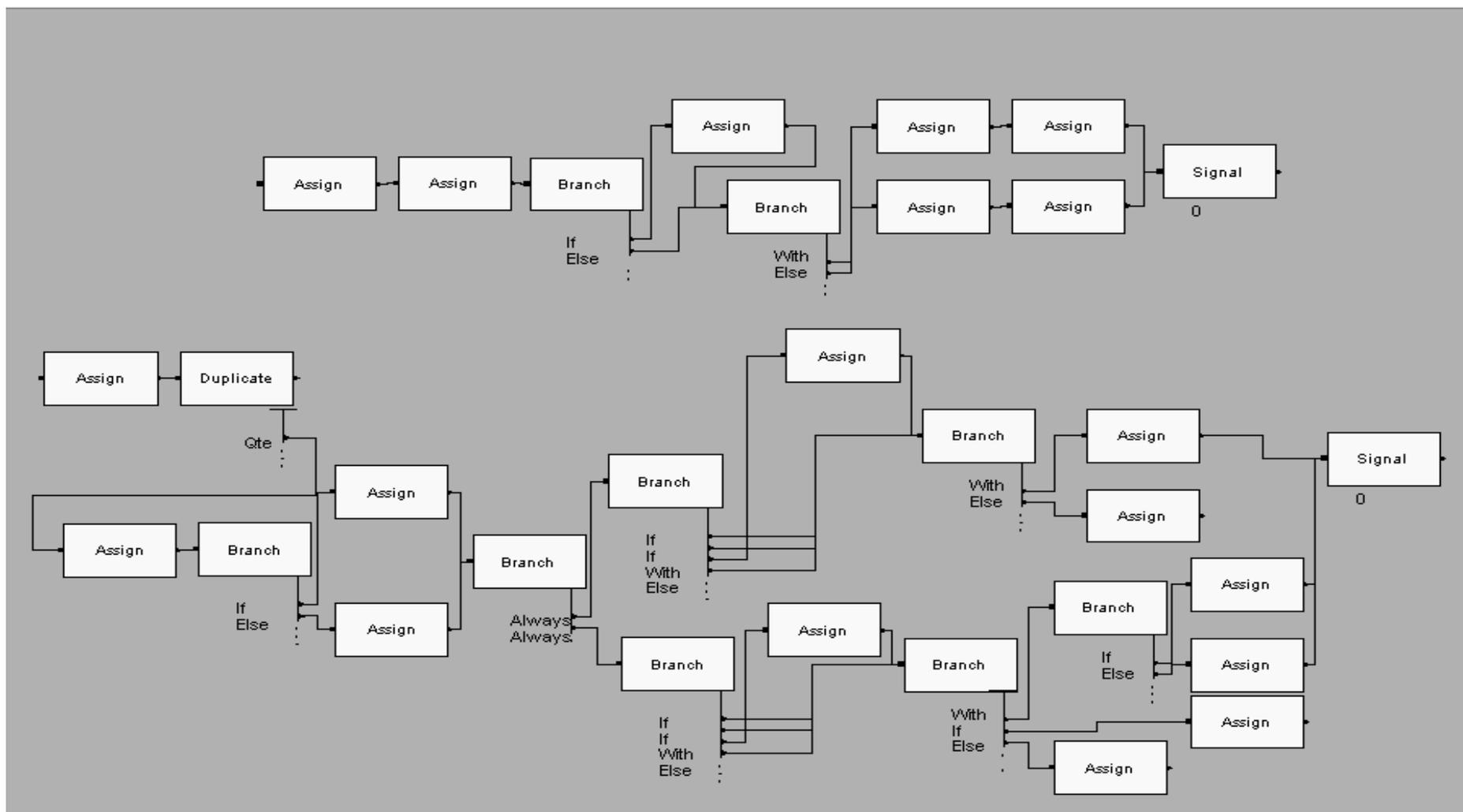


Figure 106 Processus de tri des produits collectés et récupérés

3.10 Processus paiements

Nous avons également modélisé le processus de paiement. Ce processus s'exécute d'une manière périodique et les entités quittent le processus à la fin de contrat ou si le contrat est rompu.

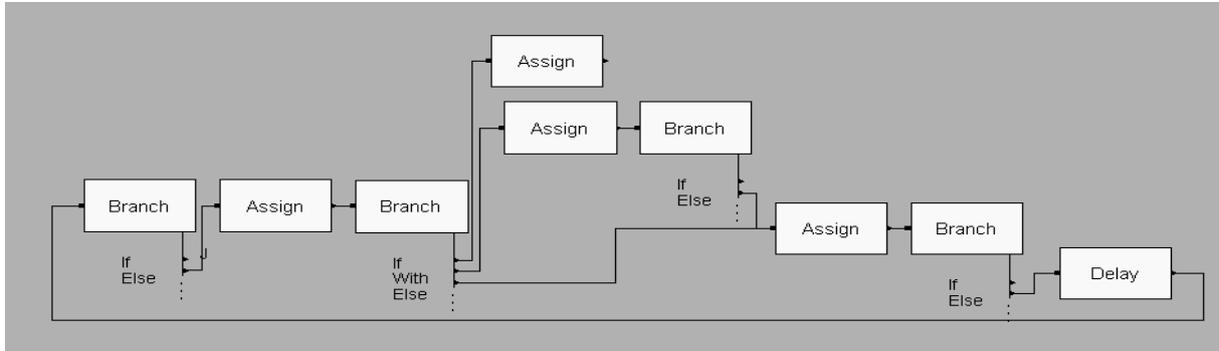


Figure 107 Processus de paiements

Annexe 2 : Modèle de processus de planification

1 Demande en produit dans le cas de la vente et dans le cas PSS

1.1 Eclatement de la demande globale sur les deux marchés PSS et NPSS

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre 5, nous distinguons deux marchés : la vente classique (NPSS) et les offres de contrat PSS (PSS). Nous avons une décomposition de la demande globale, pour une famille de produit r , donnée par :

$$VFP_{r,t}^{PSS} = VFP_{r,t} \times Attra_PSS$$

$$VFP_{r,t}^{NPSS} = VFP_{r,t} \times (1 - Attra_PSS)$$

Avec :

r : indice de la famille de produit, t : indice de temps, VFP : volume famille de produit global, VFP^{PSS} : volume marché PSS, VFP^{NPSS} : volume marché NPSS, $Attra_PSS_{r,t}$: attractivité du marché PSS pour la famille de produit r à un instant t .

2 Demande dans le cas vente classique (NPSS)

Dans le cas de la vente classique, l'entreprise a mis à disposition des clients des produits et un ensemble de services optionnels.

Une famille de produit r est composée de I produits $FP_r = \{TP_{ri}/i = 1 \dots I\}$, pour le marché NPSS, nous devons désagréger la demande selon le type de produit (TP_{ri}^{NPSS}). Nous définissons une variable d'attractivité du type de produit ($Attra_TP_{ri}^{NPSS} \in [0, 1]$). Cette variable nous permet de modéliser l'évolution temporelle de la demande pour un type de produit i , avec :

$$\sum_i Attra_TP_{ri}^{NPSS} = 1.$$

Nous pouvons ainsi calculer le volume du marché NPSS (traditionnel) pour un type de produit i VTP_{rit}^{NPSS} pour chaque famille de produit r .

$$VTP_{rit}^{NPSS} = VFP_{rt}^{NPSS} \times Attra_TP_{ri}^{NPSS}$$

3 Demande dans le cas contrats PSS :

Dans le cas d'une offre PSS, nous avons défini les offres de contrat ainsi que le comportement commercial des clients. Ces deux éléments nous permettent de calculer la demande pour chaque type de produit.

Pour chaque famille de produit r

Pour chaque période t

Pour chaque type de produit i TP_{ri}

Pour chaque contrat j OC_j ($j = 1 \dots J$) (J : nombre total d'offres de contrat)

Si OC_j est constituée du produit TP_{ri} ($TP_{ri} \in OC_j$)

$$VTP_{rit}^{PSS} = \begin{cases} VFP_{r,t}^{PSS} \times (\alpha_1 \times \mu_{1,j} + \alpha_2 \times \mu_{2,j} + \dots + \alpha_q \times \mu_{q,j}) & si j = 1 \\ VTP_{ri(j-1)t}^{PSS} + VFP_{r,t}^{PSS} \times (\alpha_1 \times \mu_{1,j} + \alpha_2 \times \mu_{2,j} + \dots + \alpha_q \times \mu_{q,j}) & si j > 1 \end{cases}$$

Fin Si

Fin Pour

Fin Pour

Fin Pour

Fin Pour

4 Exemple numérique :

4.1 Hypothèses :

Nous avons considéré quelques hypothèses pour élaborer le modèle de planification. Ces hypothèses sont :

- La période considérée pour la planification est une semaine : nous commençons d'abord la planification en considérant un trimestre, ensuite nous divisons la planification en semaines.
- Nous considérons une demande globale hebdomadaire de 12 produits.
- Le lancement s'effectue en début de chaque période.
- Nous avons fait les calculs en considérant une capacité infinie.
- Nous n'avons pas considéré de stocks initiaux.
- Durée de contrats d'un an pour les offres PSS.

Remarque : Les calculs effectués dans le modèle de planification dépendent de la de la valeur des facteurs : Offre globale, Profil commercial et Exigence en service. Dans l'exemple numérique que nous présentons, les modalités correspondent à :

| | <i>Modalité 1: Offre Globale 1</i> | | | |
|------------------|------------------------------------|-----|-----|-----|
| Offre de contrat | OC1 | OC2 | OC3 | OC4 |
| Type Produit | TP1 | TP1 | TP2 | TP2 |
| Bouquet Service | BS1 | BS2 | BS1 | BS2 |
| Garantie Service | GS1 | GS2 | GS1 | GS2 |
| Durée Contrat | DC1 (1 an) | DC1 | DC1 | DC1 |

Tableau 45 Offre globale

| $V_{com1} = EQSP_L$ | |
|---------------------|-----|
| $EQSP_1$ | 0,2 |
| $EQSP_2$ | 0,2 |
| $EQSP_3$ | 0,6 |

Tableau 46 Profil commercial

| | <i>Niveau 1: Exigence en service 1</i> | | | |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----|-----|-----|
| Offre PSS Profil commercial : (V_{com1} , V_{com2}) | OC1 | OC2 | OC3 | OC4 |
| $(S_L, EQP1)$ | 0,2 | 0,5 | 0 | 0,3 |
| $(S_L, EQP2)$ | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,5 |
| $(S_L, EQP3)$ | 0 | 0,2 | 0,2 | 0,6 |

Tableau 47 Niveau d'exigence en service

4.2 Calcul des Ordres de Fabrication PF1 :

Le tableau suivant nous montre l'éclatement de la demande mensuelle sur le marché PSS et NPSS et ensuite sur les deux produits considérés (PF1, PF2).

| Deman de total / mois | Attracti vité TP1 (vente) | Demande TP1 (Vente) | Demande TP2 (Vente) | Dema nde Vente | Attractiv ité PSS | Attractiv ité TP1 (PSS) | Demande TP1 (PSS) | Demande TP2 (PSS) | Demande PSS | Demande Total TP1/mois | Demande Total TP2/mois |
|-----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------|------------------------|------------------------|
| 60 | 0,4 | 21,6 | 32,4 | 54 | 0,1 | 0,4 | 2,4 | 3,6 | 6 | 24 | 36 |

Tableau 48 Eclatement de la demande sur les marchés et produits considérés

| | | | | | | | | | | |
|------------|----------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Produit P1 | | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Attendu | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Besoin net | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | lancem/semaine | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Produit X1 | | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Attendu | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Besoin net | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | lancem/semaine | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Produit SE | | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|--|----------------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | Attendu | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Besoin net | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | lancem/semaine | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |

Tableau 49 MRP simplifié pour les OF/semaine pour les niveaux intermédiaire de la nomenclature PF1.

A partir de ce premier tableau MRP pour les composants intermédiaires de la nomenclature, nous allons effectuer le même raisonnement pour les composants de dernier niveau et qui correspondent aux articles A, B et C (Ordre d'Achat).

| | | | | | | | | | | |
|-----------|----------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Produit C | | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Attendu | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Besoin net | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | lancem/semaine | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Produit B | | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Attendu | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Besoin net | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | lancem/semaine | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Produit A | | | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Attendu | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Besoin net | | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | lancem/semaine | | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |

Tableau 50 MRP simplifié pour les OF/semaine pour les composants de dernier niveau (ordres d'achats).

4.3 Calcul des Ordres de Fabrication pour PF2 :

4.3.1 Les quantités de produits collectées et récupérées

Pour le produit PF2, les composants A', B' et C' sont issus du remanufacturing. Le tableau suivant nous donne les valeurs des probabilités pour la récupération des produits et modules.

| | | |
|-------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Prob1 | 0 | Probabilité de récupération du produit en entier |
| Prob2 | 0,1 | Probabilité de récupérer le module SE' sachant que le produit en entier n'est pas récupérable |
| Prob3 | 0,9 | Probabilité de récupérer le moteur [C] sachant que le produit en entier n'est pas récupérable |
| Prob4 | 1 | Probabilité de récupérer le tambour (B') sachant que le produit en entier n'est pas récupérable |
| Prob5 | 1 | Probabilité de récupérer le châssis (A') sachant que le produit en entier n'est pas récupérable |

Tableau 51 Probabilités de récupération après désassemblage.

Par ailleurs, nous avons pour chaque période considérée (trimestre), un nombre de produits disponibles en stock pour le remanufacturing. Des produits qui sont issus de la collecte et de la récupération. La quantité de produits collectés dépend du lot de collecte (en valeur moyenne). Par contre, pour les produits récupérés, la quantité dépend des durées de contrats proposées.

| | | |
|----------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------|
| Lot Collecte | 105 | La quantité de produit collectée pour chaque période |
| Temps Inter-Collecte | 420 | Période de collecte qui correspond à un trimestre (7h/semaine, 5jour/semaine) |

Tableau 52 Données sur la collecte

| Période | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Produits Collectés (déchetrie) | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 |
| Produits récupérés (fin contrat) | 0 | 0 | 0 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |

Tableau 53 Quantités de produit à remanufacturé (collecte + récupération en fin de contrat).

4.3.2 Calcul des ordres de fabrication PF2

Nous avons toutes les données nécessaires (demande en PF2, les quantités attendues, les stocks initiaux) pour permettre le calcul des ordres de fabrication.

| | | | | | | | | | | |
|-------------|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Produit P2 | | Initial | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Attendu | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Besoin net | | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 |
| | lancem/semaine | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Produit X2 | | Initial | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Attendu | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Besoin net | | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 |
| | lancem/semaine | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Produit SE' | | Initial | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Attendu | | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 12,9 | 12,9 | 12,9 | 12,9 | 12,9 |
| | Besoin net | | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 95,1 | 95,1 | 95,1 | 95,1 | 95,1 |
| | lancem/semaine | | 8,125 | 8,125 | 8,125 | 7,925 | 7,925 | 7,925 | 7,925 | 7,925 |

Tableau 54 MRP simplifié pour les OF/semaine pour les niveaux intermédiaire de la nomenclature PF2.

A partir de ce premier tableau MRP pour les composants intermédiaires de la nomenclature PF2, nous allons effectuer le même raisonnement pour les composants de dernier niveau et qui correspondent aux articles A', B' et C'. Dans la case « attendu », nous mettons les quantités de composants issus du désassemblage des produits collectés et récupérés. La quantité que nous mettons dans cette case dépend des probabilités de récupération des composants et modules (qui elles-mêmes dépendent du produit et du profil d'usage des clients). Dans cet exemple (durée de contrat 1 an), nous remarquons un besoin « minime » pour la première année. Pour le reste du processus, les composants issus de désassemblage sont en quantité suffisante pour répondre à la demande en PF2. Nous avons considéré, dans la simulation, une période de transition de deux ans, qui permet de palier à ce problème. Par ailleurs, nous aurions pu considérer un stock initial pour les composants manufacturé.

| | | | | | | | | | | |
|------------|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Produit C' | | Initial | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 | 108 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,1 | 16,2 | 24,3 | 32,4 | 40,5 |
| | Attendu | | 94,5 | 94,5 | 94,5 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 |
| | Besoin net | | 13,5 | 13,5 | 13,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | lancem/semaine | | 1,125 | 1,125 | 1,125 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produit B' | | Initial | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 95,1 | 95,1 | 95,1 | 95,1 | 95,1 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 42 | 63 | 84 | 105 |
| | Attendu | | 94,5 | 94,5 | 94,5 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 |
| | Besoin net | | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | lancem/semaine | | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Produit A' | | Initial | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Besoin brut | | 97,5 | 97,5 | 97,5 | 95,1 | 95,1 | 95,1 | 95,1 | 95,1 |
| | Stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 42 | 63 | 84 | 105 |
| | Attendu | | 94,5 | 94,5 | 94,5 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 |
| | Besoin net | | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | lancem/semaine | | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tableau 55 MRP simplifié pour les OF/semaine pour les composants de dernier niveau PF2.

4.4 Calcul des Ordres de désassemblage :

La règle modélisée dans le modèle de planification correspond à la revalorisation (et donc désassemblage) de tous les produits disponibles en stocks (collectés + récupérés). Ce désassemblage permet l'alimentation des stocks intermédiaires du processus de production PF2.

| | | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Produit P' | Période | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Produit récupérés | 0 | 0 | 0 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| | Produit collectés | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 | 105 |
| | Total dispo à remanufacturé | 105 | 105 | 105 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 |
| | OD/Sem | 8,75 | 8,75 | 8,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 |
| Production de X' | Période | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Total à remanufacturer | 105 | 105 | 105 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 |
| | Probabilité de récup | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Total Net à mettre dans le stock | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Total net à mettre dans X'/semaine | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Production de SE' | Période | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Total à remanufacturer | 105 | 105 | 105 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 |
| | Probabilité de récup SE' | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | Total Net à mettre dans le stock SE' | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 12,9 | 12,9 | 12,9 | 12,9 | 12,9 |
| | Lancement / période | 105 | 105 | 105 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 |

| | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | lancem/semaine | 8,75 | 8,75 | 8,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 |
| | Total net à mettre dans C'/semaine | 0,875 | 0,875 | 0,875 | 1,075 | 1,075 | 1,075 | 1,075 | 1,075 |
| Production de C' | Période | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Total à remanufacturer | 105 | 105 | 105 | 129 | 129 | 129 | 129 | 129 |
| | Probabilité de récup C' | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| | Total Net à mettre dans le stock C' | 94,5 | 94,5 | 94,5 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 |
| | lancem/semaine | 8,75 | 8,75 | 8,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 | 10,75 |
| | Total net à mettre dans C'/semaine | 7,875 | 7,875 | 7,875 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 |
| Production de A' | Période | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Total à remanufacturer | 94,5 | 94,5 | 94,5 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 |
| | Probabilité de récup A' | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Total Net à mettre dans le stock A' | 94,5 | 94,5 | 94,5 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 |
| | lancem/semaine | 7,875 | 7,875 | 7,875 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 |
| | Total net à mettre dans A'/semaine | 7,875 | 7,875 | 7,875 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 |
| Production de B' | Période | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 |
| | Total à remanufacturer | 94,5 | 94,5 | 94,5 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 |
| | Probabilité de récup B' | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Total Net à mettre dans le stock B' | 94,5 | 94,5 | 94,5 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 | 116,1 |
| | lancem/semaine | 7,875 | 7,875 | 7,875 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 |
| | Total net à mettre dans B'/semaine | 7,875 | 7,875 | 7,875 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 | 9,675 |

Tableau 56 Calcul des ordres de désassemblage.

Annexe 3 : Les résultats bruts des simulations

1 Description des résultats

Les résultats obtenus ont été calculés sur la base de la moyenne sur l'ensemble des réplications. Une présentation pour chaque configuration sera fournie dans cette annexe avec une description des indicateurs. A noter que les résultats que nous présentons ici ne sont pas la totalité des mesures de performances effectuées et obtenues. Par ailleurs, des fichiers traces ont été ajoutés dans le simulateur afin de mieux suivre et valider les simulations. Nous pouvons citer comme exemple de fichier :

PSS.TXT Trace les évènements liés à chaque PSS : début et fin de contrat, nombre de pannes et instants de panne, nombre d'utilisations du produit, suivi paiement...

VENDUS.TXT Trace les évènements liés aux produits vendus (hors PSS).

Pour les résultats des simulations, nous avons sélectionné, par soucis de volume, les indicateurs présentés dans le tableau suivant, qui sont des indicateurs « clefs » ayant permis l'analyse des résultats.

| Indicateur | Description de l'indicateur | |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Activité production | | pour i=1 (Production), 2 (Remanufacturing), 3 (Service): |
| Activité Remanufacturing | Charge production (Remanufacturing, Service) / Capacité-Operateur | $(\sum_{j=1}^{11} Mouch(i, j))/K$ |
| Activité Service | | avec j: Indice de l'opérateur K : Capacité de l'opérateur = 1680 h/an |
| demande totale livraison vente | Demande en livraison cas de la vente classique | $\sum_{j=1}^4 DemLivVente(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Nombre totale de livraison vente | Livraisons effectuées dans le cas de la vente classique | $\sum_{j=1}^4 NbLivraisonV(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Taux satisfaction livraison | Livraisons effectuées / Demande en livraisons | $\frac{\sum_{j=1}^4 OCRepar(j)}{\sum_{j=1}^4 DemMainC(j)}$ |
| Demande totale Interventions vente | Demande en intervention cas de la vente classique | $\sum_{j=1}^4 DemMainCVente(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Nombre totale Interventions vente | interventions effectuées dans le cas de la vente classique | $\sum_{j=1}^4 NbInterventionCV(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Taux satisfaction Intervention | interventions effectuées / Demande en livraisons | $\frac{\sum_{j=1}^4 NbInterventionCV(j)}{\sum_{j=1}^4 DemMainCVente(j)}$ |
| Demande Collecte | Demande en collecte | DemCollec |
| Nombre Collecte | Collectes effectuées | NbCollec |
| Taux satisfaction collecte | collectes effectuées / Demande en collectes | NbCollec / DemCollec |
| Taux satisfaction Service vente | <i>(Livraisons effectuées + Interventions effectuées + collectes effectuées) / (demande livraison + demande interventions + demande collectes)</i> | |
| Demande totale Livraison PSS | Demande en livraison cas de PSS | $\sum_{j=1}^4 DemLiv(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Nombre total de livraison PSS | Livraisons effectuées dans le cas de PSS | $\sum_{j=1}^4 OCLivre(j)$ avec j: Offre de contrat |

| | | |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Taux satisfaction livraison PSS | Livraisons effectuées PSS / Demande en livraisons PSS | $\frac{\sum_{j=1}^4 OCLivre(j)}{\sum_{j=1}^4 DemLiv(j)}$ |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | Demande en maintenance curative cas de PSS | $\sum_{j=1}^4 DemMainC(j)$ avec j: Offre de contrat |
| NB total Maintenance Curative PSS | maintenance curative effectuée dans le cas de PSS | $\sum_{j=1}^4 OCRepar(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | maintenance curative effectuée PSS / Demande en maintenance curative PSS | $\frac{\sum_{j=1}^4 OCRepar(j)}{\sum_{j=1}^4 DemMainC(j)}$ |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | Demande en maintenance préventive cas de PSS | $\sum_{j=1}^4 DemMainP(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Nombre total Maintenance Préventif PSS | maintenance préventive effectuée dans le cas de PSS | $\sum_{j=1}^4 OCMaintP(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Taux satisfaction Maintenance préventif PSS | maintenance préventive effectuée PSS / Demande en maintenance préventive PSS | $\frac{\sum_{j=1}^4 OCMaintP(j)}{\sum_{j=1}^4 DemMainP(j)}$ |
| Demande totale Récupération PSS | Demande de récupération cas de PSS | $\sum_{j=1}^4 DemRecup(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Nombre total Récupération PSS | récupération effectuée dans le cas de PSS | $\sum_{j=1}^4 OCRecup(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Taux satisfaction Récupération PSS | maintenance préventive effectuée PSS / Demande en maintenance préventive PSS | $\frac{\sum_{j=1}^4 OCRecup(j)}{\sum_{j=1}^4 DemRecup(j)}$ |
| Taux satisfaction Services PSS | (Livraisons effectuées + maintenance préventive effectuée + récupérations effectuées + maintenances curatives effectuée) / (demande livraison + demande maintenance préventive + demande récupérations + demande curatives effectuées) | |
| Retard Intervention PSS | Calculé sur la base de la garantie de service (temps d'attente maintenance curative PSS >GS) | $\sum_{j=1}^4 RetardMaint(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Retard Livraison PSS | Calculé sur la base de la garantie de service (temps d'attente livraison PSS >GS) | $\sum_{j=1}^4 RetardLiv(j)$ avec j: Offre de contrat |
| Temps Attente Service Intervention Vente | Temps moyens d'attente pour chaque processus (Production, Remanufacturing et Services) Indicateur interne à Arena TAVG(NomDeLafile.WaitingTime) | |
| Temps Attente Livraison Vente | | |
| Temps Attente Service Collecte | | |
| Temps Attente Livraison PSS | | |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | | |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | | |
| Temps Attente Service récupération | | |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | | |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | | |
| Temps Attente Ressource Finition | | |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | | |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | | |
| OF Satisfait en Retarde | | |
| OF Satisfait a temps | OF étant satisfait avec un délai d'attente < 24h | Compteur Arena |
| Nombre OF | Nombre total d'OF générés pendant la simulation | Compteur Arena |
| Taux satisfaction OF | OF Satisfait à temps / Nombre d'OF | Compteur Arena |
| Stock PF1 Moyen | Stock(6) | |
| Stock PF2 Moyen | Stock(16) | |
| Parc PSS | Nombre total demande contrats PSS | Variable ParcPSS |
| Parc vente | Nombre total demande vente classique | Variable ParcVendu |
| Satisfaction Acte vente | Ventes classiques réalisées à temps (<GS) / Nombre total demande vente classique | |
| Satisfaction acte PSS (produit) | Contrats PSS réalisés à temps (<GS) / Nombre total demande contrats PSS | Compteur Arena |

Tableau 57 Description des indicateurs de performance

2 Types de configuration :

Nous allons présenter les 160 scénarios sur 20 tableaux différents. Chaque tableau correspond à une combinaison de facteurs de décision (compétence des ressources, règle d'affectation, offre globale PSS). Pour chaque tableau, nous présentons les résultats pour les 8 sources d'incertitudes (Sc1...Sc8) (Tableau 2)

| Scénario | Modalité des sources d'incertitudes | | |
|----------|-------------------------------------|-------------------|----------------|
| | Sensibilité service | Profil commercial | Profil d'usage |
| Sce 1 | Sens 1 | Pcom1 | Pusa1 |
| Sce 2 | Sens 1 | Pcom1 | Pusa2 |
| Sce 3 | Sens 1 | Pcom2 | Pusa1 |
| Sce 4 | Sens 1 | Pcom2 | Pusa2 |
| Sce 5 | Sens 2 | Pcom1 | Pusa1 |
| Sce 6 | Sens 2 | Pcom1 | Pusa2 |
| Sce 7 | Sens 2 | Pcom2 | Pusa1 |
| Sce 8 | Sens 2 | Pcom2 | Pusa2 |

Tableau 58 Description des différents scénarios de sources d'incertitude.

3 Tableaux récapitulatifs des résultats bruts obtenus

Nous présentons, pour chaque configuration, les résultats de simulations pour les 8 sources d'incertitudes.

| | Spécialisation OG1 | | | | | | | |
|---------------------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| Activité Remanufacturing | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| Activité Service | 4,8 | 4,9 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 4,8 | 4,5 | 4,6 |
| demande totale livraisons vente | 1707 | 1710 | 1581 | 1593 | 1512 | 1534 | 1375 | 1389 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1364 | 1310 | 1392 | 1422 | 1321 | 1222 | 1206 | 1182 |
| Taux satisfaction livraisons | 79,9% | 76,6% | 88,1% | 89,3% | 87,4% | 79,6% | 87,7% | 85,1% |
| Demande totale Interventions vente | 2598 | 2423 | 2835 | 2836 | 2685 | 2318 | 2581 | 2435 |
| Nombre total Interventions vente | 2090 | 1880 | 2527 | 2534 | 2359 | 1888 | 2323 | 2129 |
| Taux satisfaction Interventions | 80,5% | 77,6% | 89,1% | 89,4% | 87,8% | 81,5% | 90,0% | 87,4% |
| Demande Collecte | 1839 | 1837 | 1838 | 1842 | 1835 | 1839 | 1837 | 1835 |
| Nombre Collecte | 1635 | 1658 | 1715 | 1742 | 1735 | 1640 | 1672 | 1645 |
| Taux satisfaction collecte | 88,9% | 90,3% | 93,3% | 94,6% | 94,5% | 89,2% | 91,0% | 89,6% |
| Taux satisfaction Service vente | 82,8% | 81,2% | 90,1% | 90,9% | 89,8% | 83,5% | 89,8% | 87,6% |
| Demande totale Livraisons PSS | 310 | 321 | 299 | 292 | 284 | 280 | 254 | 249 |
| Nombre total de livraisons PSS | 247 | 246 | 264 | 259 | 249 | 224 | 221 | 213 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 79,7% | 76,6% | 88,2% | 88,9% | 87,7% | 79,9% | 87,1% | 85,6% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 837 | 919 | 913 | 1016 | 912 | 904 | 838 | 924 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 766 | 837 | 868 | 971 | 866 | 840 | 803 | 882 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 91,6% | 91,1% | 95,0% | 95,5% | 94,9% | 93,0% | 95,7% | 95,4% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 169 | 167 | 117 | 113 | 184 | 166 | 171 | 163 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 114 | 108 | 85 | 81 | 133 | 112 | 127 | 116 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 67,5% | 64,8% | 72,7% | 72,2% | 72,2% | 67,3% | 74,1% | 71,3% |
| Demande totale Récupération PSS | 153 | 143 | 184 | 180 | 172 | 140 | 156 | 145 |
| Nombre total Récupération PSS | 151 | 142 | 183 | 179 | 171 | 139 | 155 | 144 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 98,7% | 99,3% | 99,5% | 99,7% | 99,5% | 99,1% | 99,4% | 99,4% |
| Taux satisfaction Services PSS | 87,0% | 86,0% | 92,5% | 93,1% | 91,4% | 88,2% | 92,0% | 91,5% |
| Temps Attente Service Interventions Vente | 76 | 105 | 79 | 86 | 55 | 43 | 41 | 58 |
| Temps Attente Livraison Vente | 707 | 1120 | 446 | 442 | 577 | 817 | 334 | 457 |
| Temps Attente Service Collecte | 96 | 100 | 72 | 73 | 84 | 95 | 71 | 73 |
| Temps Attente Livraison PSS | 661 | 1121 | 454 | 426 | 567 | 789 | 340 | 456 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 66 | 115 | 76 | 79 | 52 | 39 | 39 | 54 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 77 | 102 | 85 | 88 | 53 | 40 | 44 | 59 |
| Temps Attente Service récupération | 13 | 25 | 8 | 9 | 13 | 31 | 7 | 17 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 13 | 13 | 14 | 14 | 8 | 7 | 8 | 7 |
| Temps Attente Ressource Finition | 16 | 16 | 17 | 17 | 13 | 12 | 13 | 12 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OF Satisfait en Retarde | 103 | 101 | 54 | 45 | 37 | 61 | 40 | 57 |
| OF Satisfait a temps | 2428 | 2446 | 2543 | 2565 | 2598 | 2508 | 2548 | 2510 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 90,1% | 90,7% | 94,3% | 95,1% | 96,4% | 93,0% | 94,5% | 93,1% |
| Stock PF1 Moyen | 102 | 104 | 0 | 0 | 633 | 606 | 880 | 881 |
| Stock PF2 Moyen | 96 | 85 | 449 | 470 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 470 | 487 | 456 | 452 | 432 | 423 | 389 | 382 |
| Parc vente | 4303 | 4337 | 4038 | 4050 | 3861 | 3868 | 3494 | 3503 |
| Satisfaction Acte vente | 99,3% | 100,0% | 62,7% | 63,0% | 50,3% | 51,4% | 43,3% | 43,5% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 99,3% | 100,0% | 62,5% | 62,9% | 51,1% | 51,5% | 41,5% | 43,2% |

Tableau 59 Configuration Spécialisation OG1

| | Poly1-Prod OG1 | | | | | | | |
|------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Activité Service | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 4,9 |
| demande totale livraisons vente | 1749 | 1749 | 1597 | 1593 | 1521 | 1527 | 1379 | 1388 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1267 | 1296 | 1350 | 1334 | 1211 | 1068 | 1119 | 1068 |
| Taux satisfaction livraisons | 72,4% | 74,1% | 84,5% | 83,8% | 79,6% | 70,0% | 81,2% | 76,9% |
| Demande totale Interventions vente | 2103 | 2190 | 2415 | 2510 | 2231 | 1873 | 2325 | 1907 |
| Nombre totale Interventions vente | 1445 | 1556 | 1936 | 2077 | 1739 | 1331 | 1979 | 1461 |
| Taux satisfaction Interventions | 68,7% | 71,1% | 80,2% | 82,7% | 78,0% | 71,1% | 85,1% | 76,6% |
| Demande Collecte | 1839 | 1836 | 1838 | 1835 | 1841 | 1839 | 1834 | 1837 |
| Nombre Collecte | 1693 | 1709 | 1752 | 1730 | 1712 | 1661 | 1674 | 1689 |
| Taux satisfaction collecte | 92,1% | 93,1% | 95,3% | 94,2% | 93,0% | 90,3% | 91,3% | 91,9% |
| Taux satisfaction Service vente | 77,4% | 79,0% | 86,1% | 86,6% | 83,4% | 77,5% | 86,2% | 82,2% |
| Demande totale Livraisons PSS | 323 | 318 | 287 | 296 | 279 | 281 | 255 | 255 |
| Nombre total de livraisons PSS | 233 | 236 | 244 | 249 | 222 | 199 | 207 | 198 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 72,0% | 74,2% | 84,8% | 84,4% | 79,6% | 70,8% | 81,3% | 77,5% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 695 | 808 | 767 | 937 | 725 | 718 | 769 | 732 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NB total Maintenance Curative PSS | 598 | 711 | 697 | 875 | 653 | 640 | 725 | 663 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 86,0% | 88,0% | 90,9% | 93,4% | 90,1% | 89,1% | 94,3% | 90,6% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 152 | 152 | 102 | 112 | 156 | 140 | 152 | 139 |
| Nombre total Maintenance Préventif PSS | 86 | 88 | 65 | 77 | 99 | 85 | 108 | 86 |
| Taux satisfaction Maintenance préventif PSS | 56,5% | 57,6% | 64,0% | 68,9% | 63,3% | 61,0% | 71,0% | 61,8% |
| Demande totale Récupération PSS | 121 | 123 | 150 | 164 | 132 | 109 | 142 | 113 |
| Nombre total Récupération PSS | 120 | 121 | 150 | 163 | 130 | 107 | 140 | 111 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,0% | 98,4% | 99,6% | 99,2% | 98,6% | 98,3% | 98,6% | 98,9% |
| Taux satisfaction Services PSS | 80,3% | 82,5% | 88,5% | 90,4% | 85,4% | 82,6% | 89,5% | 85,4% |
| Retard Interventions PSS | 18 | 17 | 23 | 37 | 26 | 33 | 47 | 30 |
| Retard Livraisons PSS | 66 | 65 | 60 | 50 | 61 | 55 | 44 | 59 |
| Temps Attente Service Interventions Vente | 233 | 250 | 149 | 156 | 200 | 146 | 52 | 160 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 714 | 700 | 596 | 276 | 380 | 368 | 153 | 385 |
| Temps Attente Service Collecte | 607 | 507 | 334 | 410 | 510 | 713 | 596 | 614 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 738 | 685 | 595 | 266 | 375 | 368 | 146 | 372 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 217 | 235 | 146 | 137 | 166 | 140 | 45 | 138 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 221 | 274 | 169 | 168 | 224 | 148 | 52 | 158 |
| Temps Attente Service récupération | 25 | 12 | 15 | 13 | 16 | 15 | 4 | 19 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 6 | 10 | 4 | 1 | 3 | 0 | 5 | 8 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 10 | 14 | 8 | 5 | 6 | 3 | 8 | 11 |
| Temps Attente Ressource Finition | 14 | 18 | 13 | 10 | 10 | 7 | 13 | 15 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 19 | 23 | 20 | 16 | 18 | 12 | 20 | 21 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 10 | 14 | 8 | 4 | 6 | 3 | 9 | 11 |
| OF Satisfait en Retarde | 143 | 141 | 90 | 87 | 122 | 182 | 123 | 154 |
| OF Satisfait a temps | 2504 | 2510 | 2573 | 2576 | 2538 | 2468 | 2519 | 2499 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 92,9% | 93,1% | 95,4% | 95,5% | 94,1% | 91,5% | 93,4% | 92,7% |
| Stock PF1 Moyen | 105 | 97 | 0 | 0 | 630 | 624 | 895 | 882 |
| Stock PF2 Moyen | 92 | 88 | 474 | 475 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 502 | 494 | 443 | 454 | 431 | 427 | 391 | 390 |
| Parc vente | 4501 | 4515 | 4097 | 4089 | 3901 | 3919 | 3530 | 3536 |
| Satisfaction Acte vente | 98,1% | 96,3% | 63,9% | 62,9% | 51,1% | 51,1% | 42,9% | 43,3% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 98,1% | 96,1% | 63,7% | 63,7% | 50,9% | 51,4% | 42,9% | 41,9% |

Tableau 60 Configuration Poly1-Prod OG1

| | Poly1-Serv OG1 | | | | | | | |
|-------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,7 | 3,8 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,4 |
| Activité Remanufacturing | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Activité Service | 4,6 | 4,7 | 4,2 | 4,3 | 4,2 | 4,4 | 4,2 | 4,1 |
| demande totale livraisons vente | 1718 | 1725 | 1576 | 1592 | 1519 | 1513 | 1387 | 1377 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1637 | 1667 | 1574 | 1590 | 1517 | 1500 | 1379 | 1369 |
| Taux satisfaction livraisons | 95,3% | 96,6% | 99,9% | 99,9% | 99,8% | 99,1% | 99,4% | 99,4% |
| Demande totale Interventions vente | 3578 | 3686 | 3564 | 3559 | 3434 | 3411 | 3174 | 3181 |
| Nombre totale Interventions vente | 3394 | 3545 | 3552 | 3547 | 3423 | 3370 | 3153 | 3151 |
| Taux satisfaction Interventions | 94,9% | 96,2% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 98,8% | 99,3% | 99,1% |
| Demande Collecte | 1838 | 1839 | 1834 | 1836 | 1838 | 1832 | 1838 | 1837 |
| Nombre Collecte | 1804 | 1797 | 1826 | 1827 | 1830 | 1817 | 1822 | 1828 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux satisfaction collecte | 98,1% | 97,7% | 99,6% | 99,5% | 99,6% | 99,2% | 99,1% | 99,5% |
| Taux satisfaction Service vente | 95,8% | 96,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,0% | 99,3% | 99,3% |
| Demande totale Livraisons PSS | 317 | 317 | 298 | 295 | 277 | 285 | 254 | 254 |
| Nombre total de livraisons PSS | 302 | 307 | 298 | 295 | 276 | 282 | 252 | 252 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 95,4% | 96,7% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,0% | 99,3% | 99,3% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1139 | 1361 | 1130 | 1316 | 1114 | 1320 | 1034 | 1211 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1113 | 1340 | 1128 | 1314 | 1112 | 1313 | 1031 | 1205 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 97,7% | 98,5% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,5% | 99,7% | 99,6% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 217 | 219 | 140 | 135 | 215 | 221 | 198 | 204 |
| Nombre total Maintenance Préventif PSS | 166 | 171 | 113 | 109 | 175 | 178 | 159 | 164 |
| Taux satisfaction Maintenance préventif PSS | 76,3% | 78,0% | 80,6% | 80,9% | 81,3% | 80,5% | 80,3% | 80,4% |
| Demande totale Récupération PSS | 221 | 231 | 233 | 232 | 216 | 219 | 196 | 196 |
| Nombre total Récupération PSS | 221 | 231 | 233 | 232 | 216 | 219 | 196 | 196 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Taux satisfaction Services PSS | 95,1% | 96,3% | 98,3% | 98,5% | 97,7% | 97,4% | 97,4% | 97,5% |
| Retard Intervention PSS | 33 | 36 | 39 | 43 | 54 | 58 | 52 | 60 |
| Retard Livraisons PSS | 29 | 27 | 18 | 19 | 24 | 24 | 23 | 21 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 20 | 26 | 7 | 10 | 9 | 12 | 10 | 10 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 225 | 112 | 7 | 5 | 8 | 38 | 12 | 40 |
| Temps Attente Service Collecte | 55 | 49 | 28 | 28 | 29 | 35 | 31 | 34 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 218 | 104 | 6 | 5 | 8 | 38 | 12 | 46 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 19 | 22 | 7 | 9 | 9 | 12 | 10 | 10 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 20 | 26 | 8 | 10 | 9 | 13 | 11 | 10 |
| Temps Attente Service récupération | 5 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 133 | 152 | 9 | 23 | 27 | 45 | 39 | 34 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 133 | 150 | 15 | 28 | 31 | 47 | 41 | 37 |
| Temps Attente Ressource Finition | 136 | 152 | 21 | 33 | 38 | 54 | 48 | 43 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 323 | 299 | 39 | 58 | 67 | 105 | 85 | 96 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 342 | 300 | 24 | 45 | 56 | 94 | 67 | 90 |
| OF Satisfait en Retarde | 155 | 166 | 9 | 29 | 28 | 55 | 46 | 51 |
| OF Satisfait a temps | 2465 | 2448 | 2684 | 2660 | 2661 | 2620 | 2633 | 2632 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 91,4% | 90,8% | 99,5% | 98,7% | 98,7% | 97,2% | 97,7% | 97,6% |
| Stock PF1 Moyen | 73 | 89 | 0 | 0 | 632 | 615 | 870 | 880 |
| Stock PF2 Moyen | 76 | 59 | 491 | 474 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 490 | 481 | 460 | 451 | 424 | 437 | 394 | 389 |
| Parc vente | 4392 | 4389 | 4046 | 4053 | 3875 | 3855 | 3521 | 3509 |
| Satisfaction Acte vente | 88,8% | 89,9% | 63,2% | 63,6% | 50,4% | 52,1% | 43,9% | 43,6% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 88,5% | 89,9% | 62,8% | 63,1% | 48,9% | 51,8% | 43,1% | 42,7% |

Tableau 61 Configuration Poly1-Serv OG1

| | Poly2-Prod OG1 | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,7 | 3,7 | 3,3 | 3,4 | 3,6 | 3,4 | 3,3 | 3,3 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Activité Service | 4,9 | 4,9 | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,6 |
| demande totale livraisons vente | 1750 | 1751 | 1590 | 1597 | 1526 | 1520 | 1385 | 1394 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1471 | 1436 | 1498 | 1548 | 1332 | 1423 | 1322 | 1303 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux satisfaction livraisons | 84,1% | 82,0% | 94,2% | 96,9% | 87,3% | 93,6% | 95,4% | 93,4% |
| Demande totale Interventions vente | 3124 | 3035 | 3336 | 3334 | 2899 | 3171 | 3006 | 2964 |
| Nombre totale Interventions vente | 2797 | 2695 | 3234 | 3227 | 2663 | 3047 | 2913 | 2847 |
| Taux satisfaction Interventions | 89,5% | 88,8% | 96,9% | 96,8% | 91,9% | 96,1% | 96,9% | 96,1% |
| Demande Collecte | 1838 | 1838 | 1842 | 1839 | 1835 | 1834 | 1837 | 1834 |
| Nombre Collecte | 1785 | 1754 | 1796 | 1820 | 1745 | 1769 | 1789 | 1786 |
| Taux satisfaction collecte | 97,1% | 95,4% | 97,5% | 99,0% | 95,1% | 96,5% | 97,4% | 97,4% |
| Taux satisfaction Service vente | 90,2% | 88,8% | 96,5% | 97,4% | 91,7% | 95,6% | 96,7% | 95,9% |
| Demande totale Livraisons PSS | 328 | 326 | 295 | 295 | 289 | 284 | 253 | 251 |
| Nombre total de livraisons PSS | 275 | 269 | 278 | 286 | 253 | 266 | 241 | 235 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 84,0% | 82,4% | 94,3% | 96,9% | 87,8% | 93,8% | 95,3% | 93,8% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1037 | 1158 | 1043 | 1218 | 983 | 1221 | 967 | 1106 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1000 | 1118 | 1032 | 1203 | 956 | 1205 | 955 | 1092 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 96,4% | 96,5% | 98,9% | 98,7% | 97,3% | 98,7% | 98,8% | 98,7% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 202 | 192 | 133 | 133 | 200 | 206 | 187 | 185 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 154 | 144 | 105 | 104 | 155 | 162 | 148 | 146 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 76,3% | 75,2% | 79,0% | 78,2% | 77,4% | 78,5% | 79,2% | 79,0% |
| Demande totale Récupération PSS | 201 | 193 | 214 | 219 | 190 | 205 | 186 | 180 |
| Nombre total Récupération PSS | 198 | 192 | 212 | 218 | 189 | 204 | 185 | 180 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 98,7% | 99,0% | 99,3% | 99,8% | 99,5% | 99,7% | 99,7% | 99,8% |
| Taux satisfaction Services PSS | 92,0% | 92,1% | 96,6% | 97,1% | 93,5% | 95,9% | 96,0% | 96,0% |
| Retard Interventions PSS | 29 | 28 | 31 | 45 | 33 | 62 | 65 | 51 |
| Retard Livraisons PSS | 27 | 27 | 23 | 26 | 33 | 31 | 28 | 28 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 65 | 41 | 26 | 36 | 28 | 26 | 21 | 26 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 122 | 27 | 8 | 10 | 304 | 59 | 97 | 277 |
| Temps Attente Service Collecte | 197 | 316 | 183 | 70 | 339 | 249 | 142 | 166 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 102 | 14 | 7 | 9 | 302 | 58 | 95 | 266 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 60 | 37 | 24 | 30 | 26 | 22 | 20 | 24 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 60 | 41 | 25 | 33 | 31 | 24 | 22 | 26 |
| Temps Attente Service récupération | 71 | 14 | 3 | 3 | 8 | 3 | 5 | 8 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 2 | 7 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 1 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 3 | 8 | 2 | 1 | 3 | 2 | 6 | 2 |
| Temps Attente Ressource Finition | 4 | 9 | 2 | 2 | 4 | 3 | 6 | 3 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 8 | 12 | 4 | 4 | 8 | 5 | 8 | 5 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 6 | 8 | 3 | 2 | 6 | 4 | 5 | 4 |
| OF Satisfait en Retarde | 50 | 74 | 31 | 12 | 62 | 40 | 24 | 41 |
| OF Satisfait a temps | 2636 | 2593 | 2651 | 2683 | 2603 | 2635 | 2653 | 2637 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 97,8% | 96,2% | 98,3% | 99,5% | 96,5% | 97,7% | 98,4% | 97,8% |
| Stock PF1 Moyen | 92 | 101 | 0 | 0 | 622 | 635 | 893 | 886 |
| Stock PF2 Moyen | 94 | 85 | 486 | 476 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 509 | 506 | 455 | 455 | 442 | 431 | 390 | 384 |
| Parc vente | 4531 | 4512 | 4074 | 4093 | 3899 | 3897 | 3532 | 3546 |
| Satisfaction Acte vente | 99,7% | 97,9% | 63,2% | 63,3% | 50,7% | 50,6% | 43,4% | 43,3% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 99,7% | 98,2% | 62,2% | 63,3% | 51,1% | 50,4% | 43,7% | 43,0% |

Tableau 62 Configuration Poly2-Prod OG1

| | Poly2-Serv OG1 | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,5 | 3,5 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 2,9 | 3,0 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,9 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,7 | 1,7 |
| Activité Service | 4,8 | 4,8 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,3 | 4,4 |
| demande totale livraisons vente | 1752 | 1729 | 1593 | 1591 | 1514 | 1523 | 1380 | 1387 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1751 | 1728 | 1592 | 1590 | 1513 | 1522 | 1379 | 1386 |
| Taux satisfaction livraisons | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Interventions vente | 3932 | 3942 | 3573 | 3556 | 3466 | 3492 | 3253 | 3220 |
| Nombre totale Interventions vente | 3927 | 3936 | 3568 | 3552 | 3461 | 3488 | 3249 | 3216 |
| Taux satisfaction Interventions | 99,8% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande Collecte | 1837 | 1836 | 1841 | 1836 | 1838 | 1834 | 1840 | 1835 |
| Nombre Collecte | 1831 | 1831 | 1835 | 1830 | 1832 | 1829 | 1834 | 1830 |
| Taux satisfaction collecte | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% |
| Taux satisfaction Service vente | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,9% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% |
| Demande totale Livraisons PSS | 321 | 320 | 293 | 295 | 284 | 287 | 257 | 257 |
| Nombre total de livraisons PSS | 321 | 320 | 293 | 295 | 283 | 286 | 257 | 257 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1280 | 1493 | 1128 | 1307 | 1151 | 1351 | 1068 | 1267 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1279 | 1492 | 1127 | 1306 | 1151 | 1350 | 1068 | 1267 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 99,9% | 99,9% | 100% | 100% | 99,9% | 99,9% | 100% | 100% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 241 | 243 | 141 | 138 | 221 | 231 | 209 | 211 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 195 | 196 | 114 | 111 | 180 | 189 | 170 | 172 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 80,8% | 80,7% | 81,0% | 80,7% | 81,4% | 81,6% | 81,3% | 81,2% |
| Demande totale Récupération PSS | 248 | 249 | 229 | 231 | 222 | 225 | 202 | 202 |
| Nombre total Récupération PSS | 248 | 248 | 229 | 231 | 222 | 225 | 201 | 202 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Taux satisfaction Services PSS | 97,7% | 97,9% | 98,5% | 98,6% | 97,8% | 97,9% | 97,7% | 97,9% |
| Retard Interventions PSS | 22 | 28 | 34 | 41 | 19 | 34 | 23 | 27 |
| Retard Livraisons PSS | 9 | 9 | 10 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Temps Attente Service Collecte | 20 | 20 | 19 | 19 | 19 | 20 | 20 | 19 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| Temps Attente Service récupération | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 29 | 79 | 4 | 4 | 7 | 19 | 3 | 5 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 31 | 77 | 5 | 5 | 7 | 19 | 4 | 5 |
| Temps Attente Ressource Finition | 33 | 75 | 6 | 6 | 9 | 19 | 5 | 6 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 43 | 92 | 10 | 10 | 14 | 26 | 8 | 10 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 40 | 88 | 8 | 8 | 11 | 24 | 6 | 8 |
| OF Satisfait en Retarde | 22 | 53 | 9 | 16 | 5 | 20 | 15 | 6 |
| OF Satisfait a temps | 2669 | 2623 | 2686 | 2679 | 2691 | 2670 | 2680 | 2690 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 99,0% | 97,3% | 99,6% | 99,4% | 99,8% | 99,0% | 99,4% | 99,8% |
| Stock PF1 Moyen | 92 | 94 | 0 | 0 | 639 | 619 | 894 | 885 |
| Stock PF2 Moyen | 98 | 81 | 482 | 487 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Parc PSS | 503 | 494 | 450 | 453 | 435 | 438 | 395 | 395 |
| Parc vente | 4514 | 4437 | 4076 | 4080 | 3881 | 3884 | 3525 | 3537 |
| Satisfaction Acte vente | 98,6% | 92,4% | 62,9% | 62,8% | 50,2% | 51,1% | 43,0% | 43,3% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 98,7% | 92,1% | 63,0% | 63,4% | 50,4% | 51,7% | 43,2% | 43,3% |

Tableau 63 Configuration Poly2-Serv OG1

| | Spécialisation OG2 | | | | | | | |
|----------------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,3 | 3,2 | 3,5 | 3,4 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |
| Activité Remanufacturing | 1,1 | 1,1 | 1,5 | 1,5 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,1 |
| Activité Service | 4,9 | 4,9 | 4,6 | 4,8 | 4,8 | 4,9 | 4,6 | 4,8 |
| demande totale livraisons vente | 1575 | 1589 | 1598 | 1589 | 1515 | 1513 | 1382 | 1368 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1239 | 1178 | 1504 | 1369 | 1190 | 1162 | 1160 | 1074 |
| Taux satisfaction livraisons | 78,7% | 74,1% | 94,1% | 86,2% | 78,5% | 76,8% | 84,0% | 78,5% |
| Demande totale Interventions vente | 2487 | 2248 | 3171 | 2643 | 2357 | 2244 | 2484 | 2217 |
| Nombre totale Interventions vente | 2054 | 1753 | 2995 | 2272 | 1935 | 1781 | 2199 | 1867 |
| Taux satisfaction Interventions | 82,6% | 78,0% | 94,4% | 86,0% | 82,1% | 79,4% | 88,5% | 84,2% |
| Demande Collecte | 1837 | 1840 | 1839 | 1841 | 1837 | 1840 | 1838 | 1838 |
| Nombre Collecte | 1519 | 1456 | 1749 | 1710 | 1526 | 1538 | 1565 | 1477 |
| Taux satisfaction collecte | 82,7% | 79,1% | 95,1% | 92,9% | 83,0% | 83,6% | 85,1% | 80,4% |
| Taux satisfaction Service vente | 81,6% | 77,3% | 94,5% | 88,1% | 81,5% | 80,1% | 86,3% | 81,5% |
| Demande totale Livraisons PSS | 294 | 289 | 294 | 295 | 282 | 278 | 249 | 251 |
| Nombre total de livraisons PSS | 233 | 215 | 277 | 256 | 222 | 213 | 210 | 197 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 79,2% | 74,2% | 94,2% | 86,9% | 78,9% | 76,6% | 84,2% | 78,3% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1270 | 1269 | 1598 | 1555 | 1246 | 1279 | 1281 | 1328 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1172 | 1161 | 1557 | 1469 | 1154 | 1174 | 1218 | 1250 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 92,3% | 91,5% | 97,4% | 94,4% | 92,6% | 91,8% | 95,1% | 94,1% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 312 | 284 | 259 | 220 | 330 | 306 | 330 | 296 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 235 | 205 | 213 | 168 | 252 | 224 | 262 | 226 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 75,2% | 72,2% | 82,1% | 76,5% | 76,2% | 73,1% | 79,4% | 76,3% |
| Demande totale Récupération PSS | 93 | 76 | 146 | 112 | 91 | 76 | 95 | 79 |
| Nombre total Récupération PSS | 90 | 72 | 145 | 111 | 87 | 74 | 92 | 76 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 97,2% | 95,8% | 99,4% | 99,2% | 95,4% | 97,0% | 97,5% | 96,0% |
| Taux satisfaction Services PSS | 87,9% | 86,2% | 95,4% | 91,8% | 88,0% | 86,9% | 91,2% | 89,5% |
| Retard Interventions PSS | 41 | 53 | 48 | 59 | 42 | 35 | 61 | 40 |
| Retard Livraisons PSS | 41 | 41 | 34 | 43 | 38 | 40 | 33 | 32 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 48 | 53 | 41 | 60 | 43 | 51 | 36 | 46 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 418 | 510 | 116 | 509 | 449 | 606 | 230 | 329 |
| Temps Attente Service Collecte | 71 | 76 | 49 | 82 | 73 | 87 | 56 | 64 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 399 | 504 | 105 | 516 | 445 | 612 | 248 | 342 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 47 | 49 | 39 | 53 | 41 | 46 | 34 | 42 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 48 | 53 | 40 | 59 | 41 | 46 | 37 | 46 |
| Temps Attente Service récupération | 11 | 11 | 5 | 11 | 9 | 13 | 7 | 10 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 7 | 7 | 14 | 14 | 7 | 7 | 8 | 7 |
| Temps Attente Ressource Finition | 11 | 11 | 17 | 17 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| OF Satisfait en Retarde | 82 | 92 | 28 | 54 | 49 | 54 | 42 | 62 |
| OF Satisfait a temps | 2389 | 2331 | 2583 | 2533 | 2437 | 2438 | 2467 | 2386 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 88,6% | 86,5% | 95,8% | 93,9% | 90,4% | 90,4% | 91,5% | 88,5% |
| Stock PF1 Moyen | 496 | 473 | 0 | 0 | 608 | 606 | 871 | 873 |
| Stock PF2 Moyen | 0 | 0 | 460 | 459 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 445 | 434 | 450 | 446 | 424 | 420 | 375 | 378 |
| Parc vente | 3984 | 3987 | 4071 | 4009 | 3818 | 3824 | 3475 | 3440 |
| Satisfaction Acte vente | 56,3% | 56,9% | 63,4% | 63,4% | 51,5% | 51,7% | 43,5% | 44,6% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 56,1% | 56,5% | 62,4% | 63,8% | 51,9% | 51,6% | 42,5% | 43,1% |

Tableau 64 Configuration Spécialisation OG2

| | Poly1-Prod OG2 | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,0 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,1 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 |
| Activité Service | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 5,0 |
| demande totale livraisons vente | 1606 | 1592 | 1592 | 1595 | 1537 | 1530 | 1382 | 1389 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1052 | 1034 | 1251 | 1294 | 1110 | 1067 | 1034 | 907 |
| Taux satisfaction livraisons | 65,5% | 64,9% | 78,6% | 81,2% | 72,2% | 69,7% | 74,8% | 65,3% |
| Demande totale Interventions vente | 1860 | 1827 | 2414 | 2394 | 1943 | 1796 | 1999 | 1804 |
| Nombre totale Interventions vente | 1284 | 1251 | 1958 | 1923 | 1405 | 1212 | 1557 | 1360 |
| Taux satisfaction Interventions | 69,0% | 68,5% | 81,1% | 80,3% | 72,3% | 67,5% | 77,9% | 75,4% |
| Demande Collecte | 1840 | 1839 | 1842 | 1837 | 1838 | 1835 | 1831 | 1837 |
| Nombre Collecte | 1682 | 1606 | 1723 | 1710 | 1672 | 1672 | 1636 | 1562 |
| Taux satisfaction collecte | 91,4% | 87,3% | 93,5% | 93,1% | 90,9% | 91,1% | 89,4% | 85,0% |
| Taux satisfaction Service vente | 75,7% | 74,0% | 84,3% | 84,6% | 78,7% | 76,5% | 81,1% | 76,1% |
| Demande totale Livraisons PSS | 292 | 295 | 294 | 297 | 275 | 281 | 254 | 254 |
| Nombre total de livraisons PSS | 189 | 191 | 233 | 240 | 197 | 197 | 191 | 168 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 64,8% | 64,8% | 79,2% | 80,9% | 71,7% | 70,1% | 75,2% | 65,9% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 895 | 966 | 1169 | 1331 | 966 | 957 | 1017 | 1010 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 771 | 833 | 1064 | 1224 | 850 | 819 | 918 | 915 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 86,1% | 86,3% | 91,1% | 91,9% | 88,0% | 85,5% | 90,3% | 90,6% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 233 | 229 | 200 | 193 | 261 | 248 | 274 | 231 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 153 | 149 | 148 | 142 | 178 | 155 | 199 | 164 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 65,8% | 65,1% | 74,1% | 73,6% | 68,2% | 62,5% | 72,6% | 71,1% |
| Demande totale Récupération PSS | 47 | 43 | 89 | 96 | 58 | 43 | 65 | 54 |
| Nombre total Récupération PSS | 42 | 39 | 87 | 94 | 55 | 40 | 62 | 50 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 88,3% | 90,9% | 97,1% | 98,2% | 95,1% | 94,4% | 96,0% | 93,2% |
| Taux satisfaction Services PSS | 78,7% | 79,1% | 87,4% | 88,7% | 82,1% | 79,2% | 85,1% | 83,7% |
| Retard Interventions PSS | 25 | 25 | 33 | 31 | 41 | 31 | 37 | 41 |
| Retard Livraisons PSS | 45 | 45 | 43 | 48 | 52 | 58 | 44 | 30 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 78 | 124 | 71 | 100 | 80 | 131 | 59 | 62 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 247 | 296 | 222 | 307 | 471 | 468 | 327 | 65 |
| Temps Attente Service Collecte | 642 | 975 | 462 | 501 | 680 | 673 | 804 | 1106 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 252 | 292 | 213 | 301 | 468 | 459 | 324 | 63 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 73 | 117 | 65 | 89 | 76 | 126 | 58 | 59 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 76 | 115 | 71 | 92 | 79 | 108 | 59 | 64 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps Attente Service récupération | 9 | 13 | 8 | 7 | 18 | 17 | 13 | 6 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 10 | 5 | 5 | 0 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 4 | 3 | 4 | 5 | 14 | 9 | 8 | 3 |
| Temps Attente Ressource Finition | 8 | 7 | 8 | 9 | 18 | 13 | 13 | 8 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 12 | 10 | 14 | 15 | 25 | 19 | 19 | 10 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 5 | 4 | 3 | 3 | 14 | 9 | 8 | 2 |
| OF Satisfait en Retarde | 213 | 229 | 85 | 85 | 136 | 153 | 134 | 200 |
| OF Satisfait a temps | 2444 | 2389 | 2585 | 2572 | 2520 | 2509 | 2502 | 2421 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 90,6% | 88,6% | 95,9% | 95,4% | 93,5% | 93,0% | 92,8% | 89,8% |
| Stock PF1 Moyen | 500 | 491 | 0 | 0 | 621 | 624 | 884 | 884 |
| Stock PF2 Moyen | 0 | 0 | 485 | 485 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 449 | 453 | 448 | 455 | 428 | 430 | 388 | 393 |
| Parc vente | 4088 | 4087 | 4077 | 4073 | 3907 | 3906 | 3535 | 3542 |
| Satisfaction Acte vente | 55,4% | 55,8% | 63,2% | 62,8% | 50,5% | 51,3% | 43,2% | 43,3% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 54,9% | 57,1% | 64,1% | 61,9% | 50,1% | 50,9% | 42,9% | 43,9% |

Tableau 65 Configuration Poly1-Prod OG2

| Poly1-Serv OG2 | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,7 | 3,7 | 3,5 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,4 | 3,6 |
| Activité Remanufacturing | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Activité Service | 4,6 | 4,6 | 4,5 | 4,6 | 4,6 | 4,6 | 4,3 | 4,5 |
| demande totale livraisons vente | 1589 | 1586 | 1586 | 1594 | 1514 | 1516 | 1383 | 1386 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1576 | 1536 | 1582 | 1576 | 1489 | 1484 | 1364 | 1348 |
| Taux satisfaction livraisons | 99,2% | 96,8% | 99,7% | 98,9% | 98,3% | 97,9% | 98,6% | 97,3% |
| Demande totale Interventions vente | 3528 | 3378 | 3539 | 3523 | 3355 | 3349 | 3144 | 3113 |
| Nombre totale Interventions vente | 3492 | 3289 | 3517 | 3488 | 3293 | 3303 | 3120 | 3062 |
| Taux satisfaction Interventions | 99,0% | 97,3% | 99,4% | 99,0% | 98,1% | 98,6% | 99,2% | 98,4% |
| Demande Collecte | 1840 | 1838 | 1837 | 1837 | 1835 | 1836 | 1838 | 1838 |
| Nombre Collecte | 1824 | 1782 | 1829 | 1809 | 1821 | 1788 | 1803 | 1775 |
| Taux satisfaction collecte | 99,1% | 97,0% | 99,6% | 98,5% | 99,2% | 97,4% | 98,1% | 96,5% |
| Taux satisfaction Service vente | 99,1% | 97,1% | 99,5% | 98,8% | 98,5% | 98,1% | 98,8% | 97,6% |
| Demande totale Livraisons PSS | 293 | 294 | 299 | 293 | 275 | 283 | 258 | 253 |
| Nombre total de livraisons PSS | 291 | 285 | 298 | 290 | 270 | 277 | 254 | 246 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 99,2% | 97,1% | 99,7% | 98,9% | 98,2% | 97,8% | 98,6% | 97,3% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1886 | 2107 | 1849 | 2054 | 1762 | 2099 | 1737 | 1922 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1876 | 2086 | 1842 | 2045 | 1745 | 2087 | 1731 | 1910 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 99,4% | 99,0% | 99,6% | 99,5% | 99,0% | 99,4% | 99,6% | 99,3% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 459 | 445 | 310 | 291 | 464 | 478 | 431 | 423 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 389 | 377 | 262 | 247 | 390 | 406 | 366 | 359 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 84,8% | 84,8% | 84,8% | 85,0% | 84,1% | 84,9% | 84,9% | 84,8% |
| Demande totale Récupération PSS | 163 | 159 | 166 | 162 | 148 | 156 | 142 | 137 |
| Nombre total Récupération PSS | 163 | 158 | 166 | 162 | 148 | 156 | 142 | 137 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,8% | 99,6% | 99,9% | 99,7% | 99,7% | 99,5% | 99,8% | 99,5% |
| Taux satisfaction Services PSS | 97,0% | 96,8% | 97,9% | 98,0% | 96,4% | 97,0% | 97,1% | 96,9% |
| Retard Interventions PSS | 61 | 74 | 63 | 60 | 100 | 74 | 70 | 96 |
| Retard Livraisons PSS | 23 | 24 | 19 | 18 | 25 | 19 | 20 | 18 |

| | | | | | | | | |
|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps Attente Service Intervention Vente | 15 | 15 | 12 | 12 | 14 | 13 | 9 | 12 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 24 | 59 | 13 | 5 | 93 | 13 | 5 | 5 |
| Temps Attente Service Collecte | 32 | 35 | 29 | 28 | 39 | 29 | 27 | 28 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 29 | 58 | 13 | 5 | 94 | 12 | 5 | 5 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 14 | 14 | 11 | 12 | 13 | 12 | 9 | 12 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 15 | 14 | 11 | 12 | 14 | 12 | 9 | 12 |
| Temps Attente Service récupération | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 58 | 68 | 32 | 49 | 60 | 44 | 19 | 44 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 60 | 70 | 37 | 53 | 61 | 46 | 22 | 46 |
| Temps Attente Ressource Finition | 67 | 76 | 42 | 58 | 68 | 53 | 29 | 53 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 121 | 163 | 73 | 105 | 150 | 98 | 56 | 99 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 106 | 140 | 62 | 83 | 143 | 80 | 36 | 71 |
| OF Satisfait en Retarde | 60 | 78 | 26 | 47 | 64 | 37 | 14 | 42 |
| OF Satisfait a temps | 2611 | 2566 | 2662 | 2617 | 2606 | 2621 | 2662 | 2607 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 96,9% | 95,2% | 98,7% | 97,1% | 96,7% | 97,2% | 98,7% | 96,7% |
| Stock PF1 Moyen | 487 | 479 | 0 | 0 | 620 | 613 | 877 | 875 |
| Stock PF2 Moyen | 0 | 0 | 464 | 452 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 450 | 445 | 464 | 451 | 423 | 432 | 393 | 384 |
| Parc vente | 4037 | 4040 | 4055 | 4068 | 3853 | 3869 | 3534 | 3507 |
| Satisfaction Acte vente | 57,0% | 55,4% | 63,4% | 63,7% | 50,8% | 51,7% | 43,5% | 43,7% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 57,5% | 55,6% | 62,8% | 63,6% | 50,0% | 52,3% | 44,0% | 42,9% |

Tableau 66 Configuration Poly1-Serv OG2

| | Poly2-Prod OG2 | | | | | | | |
|----------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,7 | 3,8 | 3,5 | 3,6 | 3,6 | 3,7 | 3,5 | 3,6 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Activité Service | 4,8 | 4,9 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,8 | 4,7 | 4,8 |
| demande totale livraisons vente | 1591 | 1603 | 1600 | 1595 | 1527 | 1540 | 1385 | 1384 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1396 | 1308 | 1507 | 1443 | 1399 | 1351 | 1270 | 1256 |
| Taux satisfaction livraisons | 87,7% | 81,6% | 94,2% | 90,5% | 91,6% | 87,7% | 91,7% | 90,7% |
| Demande totale Interventions vente | 3048 | 2718 | 3305 | 3079 | 3079 | 2988 | 2843 | 2859 |
| Nombre totale Interventions vente | 2815 | 2382 | 3168 | 2883 | 2908 | 2769 | 2694 | 2704 |
| Taux satisfaction Interventions | 92,4% | 87,6% | 95,9% | 93,7% | 94,4% | 92,7% | 94,8% | 94,6% |
| Demande Collecte | 1837 | 1839 | 1836 | 1841 | 1837 | 1839 | 1837 | 1838 |
| Nombre Collecte | 1763 | 1725 | 1782 | 1785 | 1742 | 1712 | 1761 | 1724 |
| Taux satisfaction collecte | 96,0% | 93,8% | 97,1% | 96,9% | 94,8% | 93,1% | 95,9% | 93,8% |
| Taux satisfaction Service vente | 92,2% | 87,9% | 95,8% | 93,8% | 93,9% | 91,6% | 94,4% | 93,5% |
| Demande totale Livraisons PSS | 294 | 297 | 292 | 296 | 284 | 279 | 258 | 258 |
| Nombre total de livraisons PSS | 259 | 242 | 276 | 267 | 261 | 245 | 236 | 233 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 88,0% | 81,5% | 94,3% | 90,3% | 92,0% | 87,7% | 91,6% | 90,5% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1592 | 1644 | 1649 | 1787 | 1653 | 1749 | 1527 | 1751 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1541 | 1572 | 1619 | 1744 | 1614 | 1698 | 1492 | 1716 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 96,8% | 95,6% | 98,2% | 97,6% | 97,7% | 97,1% | 97,7% | 98,0% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 394 | 356 | 264 | 254 | 435 | 405 | 389 | 389 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 322 | 283 | 221 | 210 | 360 | 332 | 323 | 323 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 81,6% | 79,4% | 83,7% | 82,8% | 82,9% | 82,0% | 83,0% | 83,1% |

| | | | | | | | | |
|------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Demande totale Récupération PSS | 130 | 112 | 150 | 139 | 139 | 124 | 123 | 124 |
| Nombre total Récupération PSS | 128 | 111 | 148 | 138 | 138 | 122 | 123 | 123 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 98,7% | 98,8% | 98,9% | 98,7% | 99,2% | 98,6% | 99,4% | 99,1% |
| Taux satisfaction Services PSS | 93,3% | 91,6% | 96,2% | 95,3% | 94,6% | 93,8% | 94,6% | 95,0% |
| Retard Interventions PSS | 64 | 56 | 45 | 63 | 61 | 80 | 62 | 90 |
| Retard Livraisons PSS | 30 | 29 | 22 | 22 | 28 | 25 | 25 | 26 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 33 | 37 | 25 | 33 | 29 | 28 | 23 | 24 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 351 | 584 | 8 | 8 | 83 | 157 | 99 | 40 |
| Temps Attente Service Collecte | 285 | 419 | 185 | 216 | 310 | 403 | 274 | 371 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 366 | 565 | 7 | 8 | 97 | 161 | 85 | 35 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 31 | 33 | 22 | 28 | 26 | 25 | 21 | 22 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 32 | 37 | 24 | 30 | 28 | 28 | 23 | 24 |
| Temps Attente Service récupération | 11 | 11 | 4 | 4 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 2 | 5 | 2 | 2 | 7 | 8 | 2 | 10 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 3 | 6 | 3 | 3 | 8 | 8 | 3 | 11 |
| Temps Attente Ressource Finition | 4 | 7 | 4 | 3 | 9 | 10 | 4 | 12 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 7 | 10 | 6 | 6 | 11 | 12 | 6 | 13 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 5 | 7 | 4 | 4 | 7 | 8 | 5 | 8 |
| OF Satisfait en Retarde | 68 | 106 | 25 | 37 | 44 | 64 | 41 | 55 |
| OF Satisfait a temps | 2600 | 2541 | 2652 | 2643 | 2616 | 2585 | 2631 | 2596 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 96,4% | 94,3% | 98,3% | 98,0% | 97,0% | 95,9% | 97,6% | 96,3% |
| Stock PF1 Moyen | 501 | 500 | 0 | 0 | 627 | 609 | 889 | 882 |
| Stock PF2 Moyen | 0 | 0 | 476 | 487 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 454 | 457 | 451 | 453 | 433 | 434 | 396 | 397 |
| Parc vente | 4085 | 4085 | 4089 | 4073 | 3888 | 3931 | 3540 | 3535 |
| Satisfaction Acte vente | 54,9% | 55,8% | 63,6% | 62,8% | 50,7% | 50,8% | 43,6% | 43,3% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 54,6% | 55,7% | 64,3% | 63,1% | 51,5% | 51,1% | 42,7% | 43,6% |

Tableau 67 Configuration Poly2-Prod OG2

| | Poly2-Serv OG2 | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,3 | 3,5 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,4 | 3,2 | 3,3 |
| Activité Remanufacturing | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Activité Service | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,7 | 4,6 | 4,6 |
| demande totale livraisons vente | 1587 | 1594 | 1585 | 1589 | 1533 | 1527 | 1382 | 1387 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1586 | 1593 | 1584 | 1588 | 1532 | 1526 | 1381 | 1386 |
| Taux satisfaction livraisons | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Interventions vente | 3567 | 3634 | 3547 | 3542 | 3478 | 3478 | 3278 | 3249 |
| Nombre totale Interventions vente | 3562 | 3629 | 3542 | 3537 | 3473 | 3474 | 3274 | 3245 |
| Taux satisfaction Interventions | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande Collecte | 1836 | 1837 | 1840 | 1839 | 1842 | 1838 | 1840 | 1836 |
| Nombre Collecte | 1831 | 1832 | 1835 | 1833 | 1837 | 1833 | 1834 | 1830 |
| Taux satisfaction collecte | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% |
| Taux satisfaction Service vente | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% |
| Demande totale Livraisons PSS | 290 | 291 | 303 | 297 | 287 | 285 | 261 | 252 |
| Nombre total de livraisons PSS | 290 | 291 | 303 | 297 | 286 | 285 | 261 | 252 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1916 | 2201 | 1905 | 2138 | 1911 | 2181 | 1785 | 1999 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1915 | 2199 | 1904 | 2137 | 1910 | 2179 | 1784 | 1998 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 473 | 473 | 308 | 303 | 494 | 495 | 459 | 439 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 403 | 404 | 263 | 258 | 422 | 422 | 394 | 374 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 85,1% | 85,5% | 85,4% | 85,1% | 85,4% | 85,3% | 85,9% | 85,3% |
| Demande totale Récupération PSS | 163 | 164 | 170 | 168 | 163 | 161 | 149 | 142 |
| Nombre total Récupération PSS | 162 | 164 | 169 | 168 | 163 | 161 | 149 | 142 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Taux satisfaction Services PSS | 97,5% | 97,7% | 98,3% | 98,4% | 97,4% | 97,6% | 97,5% | 97,7% |
| Retard Interventions PSS | 29 | 50 | 62 | 65 | 33 | 51 | 47 | 51 |
| Retard Livraisons PSS | 8 | 8 | 9 | 9 | 6 | 8 | 8 | 7 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Temps Attente Service Collecte | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Temps Attente Service récupération | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 5 | 24 | 5 | 15 | 8 | 10 | 7 | 9 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 6 | 25 | 6 | 16 | 9 | 11 | 8 | 10 |
| Temps Attente Ressource Finition | 8 | 27 | 8 | 17 | 10 | 13 | 9 | 12 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 14 | 36 | 14 | 25 | 16 | 21 | 15 | 19 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 11 | 32 | 12 | 22 | 14 | 18 | 12 | 16 |
| OF Satisfait en Retarde | 12 | 25 | 1 | 8 | 3 | 3 | 3 | 6 |
| OF Satisfait a temps | 2683 | 2667 | 2695 | 2687 | 2692 | 2693 | 2692 | 2689 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 99,5% | 98,9% | 100,0% | 99,7% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,7% |
| Stock PF1 Moyen | 517 | 497 | 0 | 0 | 624 | 624 | 888 | 883 |
| Stock PF2 Moyen | 0 | 0 | 488 | 485 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 451 | 450 | 468 | 454 | 439 | 441 | 397 | 390 |
| Parc vente | 4065 | 4072 | 4054 | 4067 | 3898 | 3898 | 3530 | 3546 |
| Satisfaction Acte vente | 55,1% | 54,9% | 62,6% | 62,7% | 50,9% | 50,7% | 43,1% | 43,4% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 54,8% | 55,5% | 62,9% | 62,7% | 51,3% | 51,2% | 43,0% | 42,4% |

Tableau 68 Configuration Poly2-Serv OG2

| | Spécialisation OG3 | | | | | | | |
|-------------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,1 | 2,8 | 3,3 | 3,5 | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 3,4 |
| Activité Remanufacturing | 1,2 | 1,0 | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 |
| Activité Service | 4,9 | 5,0 | 4,7 | 4,8 | 4,7 | 4,9 | 4,7 | 4,8 |
| demande totale livraisons vente | 1692 | 1632 | 1587 | 1587 | 1514 | 1525 | 1377 | 1392 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1258 | 1140 | 1349 | 1329 | 1186 | 1141 | 1129 | 1126 |
| Taux satisfaction livraisons | 74,4% | 69,9% | 85,0% | 83,7% | 78,4% | 74,8% | 82,0% | 80,9% |
| Demande totale Interventions vente | 2267 | 2111 | 2691 | 2518 | 2396 | 2156 | 2403 | 2233 |
| Nombre totale Interventions vente | 1699 | 1558 | 2345 | 2064 | 2037 | 1699 | 2099 | 1849 |
| Taux satisfaction Interventions | 74,9% | 73,8% | 87,1% | 82,0% | 85,0% | 78,8% | 87,4% | 82,8% |
| Demande Collecte | 1841 | 1836 | 1840 | 1838 | 1837 | 1838 | 1840 | 1838 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nombre Collecte | 1502 | 1309 | 1656 | 1718 | 1499 | 1509 | 1537 | 1602 |
| Taux satisfaction collecte | 81,6% | 71,3% | 90,0% | 93,5% | 81,6% | 82,1% | 83,5% | 87,2% |
| Taux satisfaction Service vente | 76,9% | 71,8% | 87,5% | 86,0% | 82,2% | 78,8% | 84,8% | 83,8% |
| Demande totale Livraisons PSS | 309 | 303 | 293 | 293 | 277 | 280 | 251 | 249 |
| Nombre total de livraisons PSS | 228 | 213 | 249 | 243 | 219 | 209 | 207 | 198 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 73,8% | 70,4% | 85,1% | 82,8% | 79,1% | 74,7% | 82,5% | 79,8% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1011 | 1078 | 1145 | 1185 | 1123 | 1114 | 1145 | 1156 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 903 | 970 | 1081 | 1101 | 1053 | 1021 | 1086 | 1079 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 89,3% | 90,0% | 94,4% | 93,0% | 93,8% | 91,6% | 94,8% | 93,4% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 241 | 239 | 168 | 166 | 275 | 248 | 288 | 262 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 165 | 163 | 127 | 120 | 208 | 176 | 225 | 192 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 68,5% | 68,2% | 75,6% | 72,1% | 75,5% | 70,9% | 78,1% | 73,2% |
| Demande totale Récupération PSS | 95 | 86 | 143 | 127 | 109 | 90 | 107 | 90 |
| Nombre total Récupération PSS | 92 | 82 | 141 | 126 | 106 | 87 | 105 | 89 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 97,3% | 95,7% | 99,0% | 99,6% | 97,3% | 97,0% | 97,8% | 99,0% |
| Taux satisfaction Services PSS | 83,8% | 83,7% | 91,4% | 89,8% | 88,9% | 86,2% | 90,6% | 88,7% |
| Retard Interventions PSS | 28 | 24 | 41 | 39 | 47 | 38 | 47 | 46 |
| Retard Livraisons PSS | 44 | 37 | 39 | 48 | 36 | 39 | 31 | 41 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 62 | 76 | 51 | 58 | 43 | 44 | 41 | 53 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 692 | 475 | 451 | 722 | 387 | 713 | 267 | 590 |
| Temps Attente Service Collecte | 88 | 70 | 74 | 99 | 62 | 82 | 58 | 83 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 691 | 485 | 440 | 697 | 379 | 723 | 269 | 597 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 56 | 72 | 46 | 51 | 40 | 39 | 38 | 47 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 60 | 79 | 52 | 54 | 42 | 42 | 40 | 50 |
| Temps Attente Service récupération | 12 | 10 | 11 | 10 | 8 | 26 | 7 | 12 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 12 | 10 | 14 | 14 | 7 | 7 | 7 | 8 |
| Temps Attente Ressource Finition | 15 | 13 | 16 | 17 | 12 | 12 | 12 | 13 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OF Satisfait en Retarde | 149 | 231 | 73 | 46 | 68 | 73 | 51 | 48 |
| OF Satisfait a temps | 2250 | 1998 | 2460 | 2553 | 2397 | 2401 | 2436 | 2488 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 83,4% | 74,1% | 91,2% | 94,7% | 88,9% | 89,0% | 90,3% | 92,3% |
| Stock PF1 Moyen | 94 | 116 | 0 | 0 | 587 | 598 | 869 | 871 |
| Stock PF2 Moyen | 82 | 63 | 441 | 456 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 452 | 429 | 447 | 453 | 415 | 424 | 376 | 382 |
| Parc vente | 4123 | 3878 | 4006 | 4042 | 3801 | 3812 | 3473 | 3488 |
| Satisfaction Acte vente | 100% | 98,3% | 61,9% | 63,4% | 52,0% | 52,0% | 43,5% | 43,9% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 100% | 98,3% | 62,1% | 62,6% | 51,8% | 52,1% | 42,8% | 44,0% |

Tableau 69 Configuration Spécialisation OG3

| | Poly1-Prod OG3 | | | | | | | |
|---------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,3 | 3,2 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 3,2 | 3,1 | 3,0 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,8 |
| Activité Service | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 4,9 | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 4,9 |
| demande totale livraisons vente | 1754 | 1737 | 1585 | 1593 | 1526 | 1530 | 1385 | 1385 |

Annexe 3 : Les résultats bruts des simulations

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nombre totale de livraisons vente | 1110 | 1133 | 1324 | 1216 | 1002 | 988 | 1072 | 991 |
| Taux satisfaction livraisons | 63,3% | 65,2% | 83,5% | 76,3% | 65,7% | 64,6% | 77,4% | 71,6% |
| Demande totale Interventions vente | 1861 | 1912 | 2667 | 2320 | 1845 | 1674 | 2018 | 1934 |
| Nombre totale Interventions vente | 1211 | 1265 | 2311 | 1840 | 1327 | 1097 | 1571 | 1507 |
| Taux satisfaction Interventions | 65,0% | 66,2% | 86,7% | 79,3% | 71,9% | 65,5% | 77,8% | 77,9% |
| Demande Collecte | 1837 | 1839 | 1839 | 1839 | 1838 | 1839 | 1839 | 1834 |
| Nombre Collecte | 1625 | 1609 | 1738 | 1711 | 1548 | 1611 | 1664 | 1621 |
| Taux satisfaction collecte | 88,5% | 87,5% | 94,5% | 93,0% | 84,2% | 87,6% | 90,5% | 88,4% |
| Taux satisfaction Service vente | 72,4% | 73,0% | 88,2% | 82,9% | 74,4% | 73,3% | 82,2% | 80,0% |
| Demande totale Livraisons PSS | 324 | 319 | 299 | 297 | 279 | 279 | 258 | 258 |
| Nombre total de livraisons PSS | 207 | 210 | 250 | 226 | 180 | 180 | 201 | 184 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 64,0% | 65,8% | 83,6% | 76,0% | 64,6% | 64,4% | 77,9% | 71,5% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 826 | 944 | 1139 | 1092 | 825 | 834 | 964 | 1039 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 697 | 819 | 1078 | 1008 | 732 | 720 | 869 | 953 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 84,3% | 86,8% | 94,6% | 92,4% | 88,7% | 86,4% | 90,2% | 91,7% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 209 | 209 | 173 | 150 | 208 | 196 | 247 | 225 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 127 | 129 | 133 | 107 | 141 | 122 | 174 | 157 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 60,8% | 61,8% | 76,8% | 71,0% | 67,7% | 62,2% | 70,3% | 70,0% |
| Demande totale Récupération PSS | 65 | 71 | 145 | 118 | 71 | 56 | 82 | 77 |
| Nombre total Récupération PSS | 61 | 68 | 143 | 116 | 66 | 53 | 80 | 74 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 94,0% | 95,8% | 98,4% | 98,6% | 93,7% | 95,1% | 97,9% | 96,6% |
| Taux satisfaction Services PSS | 76,7% | 79,5% | 91,3% | 87,9% | 80,9% | 78,8% | 85,4% | 85,6% |
| Retard Interventions PSS | 21 | 23 | 36 | 36 | 30 | 26 | 53 | 49 |
| Retard Livraisons PSS | 53 | 49 | 42 | 41 | 39 | 46 | 52 | 39 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 103 | 110 | 96 | 90 | 82 | 85 | 79 | 84 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 732 | 459 | 252 | 268 | 162 | 474 | 295 | 157 |
| Temps Attente Service Collecte | 900 | 954 | 372 | 509 | 1220 | 908 | 709 | 826 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 725 | 456 | 254 | 274 | 162 | 471 | 295 | 155 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 97 | 100 | 99 | 79 | 78 | 81 | 74 | 80 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 95 | 114 | 116 | 85 | 84 | 88 | 76 | 85 |
| Temps Attente Service récupération | 21 | 17 | 11 | 9 | 8 | 24 | 11 | 13 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 0 | 11 | 10 | 0 | 2 | 7 | 6 | 0 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 5 | 15 | 14 | 4 | 5 | 11 | 9 | 3 |
| Temps Attente Ressource Finition | 9 | 19 | 18 | 9 | 9 | 15 | 14 | 8 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 13 | 23 | 25 | 13 | 13 | 19 | 20 | 12 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 5 | 15 | 13 | 3 | 5 | 11 | 9 | 3 |
| OF Satisfait en Retarde | 179 | 189 | 74 | 94 | 195 | 183 | 129 | 163 |
| OF Satisfait a temps | 2445 | 2422 | 2591 | 2573 | 2407 | 2447 | 2511 | 2469 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 90,7% | 89,8% | 96,1% | 95,5% | 89,3% | 90,8% | 93,1% | 91,6% |
| Stock PF1 Moyen | 101 | 100 | 0 | 0 | 627 | 624 | 881 | 891 |
| Stock PF2 Moyen | 90 | 103 | 474 | 479 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 502 | 493 | 460 | 454 | 426 | 430 | 392 | 395 |
| Parc vente | 4502 | 4462 | 4081 | 4076 | 3881 | 3899 | 3533 | 3532 |
| Satisfaction Acte vente | 98,2% | 96,9% | 63,8% | 62,9% | 50,7% | 51,1% | 43,1% | 43,2% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 98,3% | 97,0% | 62,4% | 62,5% | 50,5% | 50,8% | 42,8% | 43,4% |

Tableau 70 Configuration Poly1-Prod OG3

| | Poly1-Serv OG3 | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,8 | 3,8 | 3,5 | 3,5 | 3,6 | 3,6 | 3,3 | 3,6 |
| Activité Remanufacturing | 2,0 | 1,9 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Activité Service | 4,8 | 4,9 | 4,4 | 4,5 | 4,5 | 4,6 | 4,2 | 4,5 |
| demande totale livraisons vente | 1720 | 1718 | 1596 | 1584 | 1506 | 1509 | 1384 | 1374 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1628 | 1597 | 1593 | 1583 | 1489 | 1460 | 1382 | 1337 |
| Taux satisfaction livraisons | 94,7% | 93,0% | 99,8% | 99,9% | 98,9% | 96,8% | 99,9% | 97,2% |
| Demande totale Interventions vente | 3540 | 3477 | 3543 | 3522 | 3384 | 3329 | 3214 | 2973 |
| Nombre totale Interventions vente | 3362 | 3252 | 3530 | 3513 | 3336 | 3257 | 3208 | 2876 |
| Taux satisfaction Interventions | 94,9% | 93,5% | 99,6% | 99,7% | 98,6% | 97,8% | 99,8% | 96,7% |
| Demande Collecte | 1839 | 1836 | 1836 | 1838 | 1835 | 1834 | 1839 | 1836 |
| Nombre Collecte | 1789 | 1719 | 1827 | 1830 | 1825 | 1768 | 1832 | 1804 |
| Taux satisfaction collecte | 97,3% | 93,6% | 99,5% | 99,6% | 99,4% | 96,4% | 99,6% | 98,2% |
| Taux satisfaction Service vente | 95,5% | 93,4% | 99,6% | 99,7% | 98,9% | 97,2% | 99,8% | 97,3% |
| Demande totale Livraisons PSS | 322 | 310 | 297 | 292 | 274 | 280 | 261 | 254 |
| Nombre total de livraisons PSS | 304 | 289 | 296 | 291 | 271 | 271 | 261 | 247 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 94,5% | 93,2% | 99,8% | 99,9% | 98,9% | 96,8% | 99,9% | 97,4% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1680 | 1780 | 1577 | 1743 | 1593 | 1846 | 1640 | 1759 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1644 | 1735 | 1574 | 1740 | 1582 | 1832 | 1638 | 1735 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 97,9% | 97,5% | 99,8% | 99,8% | 99,3% | 99,2% | 99,9% | 98,6% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 381 | 359 | 238 | 224 | 382 | 392 | 382 | 367 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 310 | 290 | 201 | 188 | 319 | 328 | 323 | 305 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 81,2% | 80,7% | 84,4% | 83,7% | 83,5% | 83,6% | 84,5% | 83,1% |
| Demande totale Récupération PSS | 184 | 172 | 201 | 199 | 171 | 171 | 163 | 148 |
| Nombre total Récupération PSS | 184 | 172 | 201 | 198 | 170 | 170 | 163 | 147 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,6% | 99,6% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,5% | 99,9% | 99,6% |
| Taux satisfaction Services PSS | 95,1% | 94,8% | 98,2% | 98,4% | 96,8% | 96,7% | 97,5% | 96,3% |
| Retard Interventions PSS | 43 | 44 | 57 | 57 | 68 | 70 | 87 | 73 |
| Retard Livraisons PSS | 27 | 25 | 19 | 18 | 25 | 19 | 20 | 24 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 20 | 29 | 10 | 11 | 12 | 13 | 8 | 18 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 205 | 146 | 4 | 4 | 67 | 35 | 5 | 116 |
| Temps Attente Service Collecte | 56 | 50 | 27 | 27 | 36 | 32 | 26 | 44 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 221 | 132 | 4 | 4 | 62 | 33 | 5 | 110 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 18 | 26 | 10 | 11 | 12 | 12 | 8 | 16 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 20 | 28 | 10 | 10 | 12 | 13 | 7 | 18 |
| Temps Attente Service récupération | 6 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 164 | 191 | 27 | 19 | 50 | 77 | 4 | 102 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 163 | 187 | 32 | 25 | 54 | 78 | 8 | 101 |
| Temps Attente Ressource Finition | 166 | 190 | 38 | 31 | 60 | 84 | 15 | 107 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 327 | 400 | 60 | 50 | 126 | 143 | 29 | 234 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 338 | 392 | 46 | 35 | 123 | 123 | 14 | 230 |
| OF Satisfait en Retarde | 177 | 228 | 20 | 13 | 49 | 64 | 1 | 106 |
| OF Satisfait a temps | 2427 | 2308 | 2667 | 2679 | 2630 | 2576 | 2695 | 2538 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 90,0% | 85,6% | 98,9% | 99,4% | 97,5% | 95,6% | 100% | 94,1% |
| Stock PF1 Moyen | 79 | 70 | 0 | 0 | 630 | 604 | 884 | 863 |
| Stock PF2 Moyen | 63 | 50 | 461 | 485 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Parc PSS | 490 | 467 | 455 | 451 | 421 | 427 | 403 | 383 |
| Parc vente | 4347 | 4301 | 4078 | 4060 | 3854 | 3854 | 3532 | 3460 |
| Satisfaction Acte vente | 88,8% | 85,5% | 63,5% | 63,0% | 50,4% | 51,9% | 43,4% | 43,9% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 89,3% | 85,5% | 63,0% | 62,8% | 50,8% | 51,3% | 43,5% | 43,5% |

Tableau 71 Configuration Poly1-Serv OG3

| | Poly2-Prod OG3 | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,8 | 3,9 | 3,4 | 3,5 | 3,7 | 3,7 | 3,4 | 3,5 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,9 |
| Activité Service | 4,9 | 5,0 | 4,7 | 4,7 | 4,8 | 4,8 | 4,6 | 4,7 |
| demande totale livraisons vente | 1755 | 1738 | 1596 | 1594 | 1520 | 1533 | 1392 | 1386 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1514 | 1207 | 1510 | 1529 | 1312 | 1325 | 1285 | 1284 |
| Taux satisfaction livraisons | 86,3% | 69,5% | 94,6% | 95,9% | 86,3% | 86,4% | 92,4% | 92,6% |
| Demande totale Interventions vente | 3241 | 2443 | 3318 | 3328 | 2882 | 2900 | 2898 | 2900 |
| Nombre totale Interventions vente | 2934 | 1943 | 3194 | 3227 | 2636 | 2670 | 2772 | 2751 |
| Taux satisfaction Interventions | 90,5% | 79,5% | 96,3% | 97,0% | 91,5% | 92,1% | 95,6% | 94,8% |
| Demande Collecte | 1840 | 1836 | 1838 | 1839 | 1838 | 1840 | 1835 | 1838 |
| Nombre Collecte | 1783 | 1705 | 1807 | 1812 | 1729 | 1723 | 1763 | 1806 |
| Taux satisfaction collecte | 96,9% | 92,8% | 98,3% | 98,6% | 94,1% | 93,6% | 96,1% | 98,3% |
| Taux satisfaction Service vente | 91,1% | 80,7% | 96,4% | 97,2% | 91,0% | 91,1% | 95,0% | 95,4% |
| Demande totale Livraisons PSS | 323 | 327 | 296 | 291 | 287 | 281 | 253 | 261 |
| Nombre total de livraisons PSS | 278 | 227 | 280 | 278 | 248 | 243 | 236 | 243 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 86,0% | 69,5% | 94,5% | 95,8% | 86,2% | 86,3% | 93,1% | 93,0% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1463 | 1308 | 1453 | 1627 | 1375 | 1560 | 1439 | 1686 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1407 | 1224 | 1431 | 1609 | 1328 | 1518 | 1415 | 1654 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 96,2% | 93,6% | 98,5% | 98,9% | 96,6% | 97,3% | 98,4% | 98,1% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 339 | 267 | 212 | 214 | 332 | 332 | 341 | 352 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 269 | 200 | 175 | 176 | 266 | 268 | 283 | 288 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 79,2% | 74,9% | 82,4% | 82,5% | 80,1% | 80,9% | 82,9% | 81,8% |
| Demande totale Récupération PSS | 161 | 114 | 183 | 186 | 144 | 144 | 142 | 143 |
| Nombre total Récupération PSS | 159 | 110 | 182 | 185 | 142 | 143 | 141 | 143 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 98,6% | 96,1% | 99,7% | 99,5% | 98,9% | 99,1% | 99,2% | 99,7% |
| Taux satisfaction Services PSS | 92,4% | 87,3% | 96,5% | 97,0% | 92,8% | 93,7% | 95,4% | 95,3% |
| Retard Interventions PSS | 36 | 35 | 46 | 64 | 56 | 64 | 76 | 77 |
| Retard Livraisons PSS | 28 | 21 | 23 | 24 | 30 | 26 | 24 | 30 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 74 | 50 | 29 | 28 | 34 | 27 | 26 | 28 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 14 | 12 | 8 | 8 | 299 | 211 | 134 | 319 |
| Temps Attente Service Collecte | 197 | 511 | 117 | 91 | 383 | 402 | 261 | 102 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 14 | 11 | 7 | 9 | 335 | 218 | 141 | 294 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 65 | 45 | 25 | 26 | 32 | 26 | 24 | 25 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 75 | 48 | 26 | 28 | 34 | 28 | 25 | 27 |
| Temps Attente Service récupération | 6 | 5 | 6 | 3 | 7 | 8 | 6 | 7 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 3 | 5 | 1 | 1 | 6 | 8 | 2 | 2 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 4 | 7 | 2 | 2 | 7 | 9 | 2 | 2 |
| Temps Attente Ressource Finition | 5 | 8 | 2 | 2 | 9 | 10 | 3 | 3 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 9 | 14 | 4 | 4 | 11 | 12 | 5 | 6 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 6 | 9 | 3 | 3 | 7 | 8 | 4 | 5 |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| OF Satisfait en Retarde | 32 | 95 | 20 | 10 | 62 | 58 | 42 | 17 |
| OF Satisfait a temps | 2650 | 2559 | 2668 | 2681 | 2594 | 2594 | 2628 | 2669 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 98,3% | 94,9% | 99,0% | 99,5% | 96,2% | 96,2% | 97,5% | 99,0% |
| Stock PF1 Moyen | 105 | 105 | 0 | 0 | 625 | 624 | 888 | 881 |
| Stock PF2 Moyen | 87 | 104 | 477 | 497 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 505 | 507 | 451 | 446 | 437 | 430 | 389 | 401 |
| Parc vente | 4534 | 4502 | 4091 | 4065 | 3899 | 3909 | 3538 | 3545 |
| Satisfaction Acte vente | 99,7% | 99,5% | 63,8% | 62,5% | 50,4% | 50,6% | 43,4% | 43,4% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 99,7% | 99,6% | 63,8% | 63,0% | 50,6% | 51,4% | 43,1% | 43,2% |

Tableau 72 Configuration Poly2-Prod OG3

| | Poly2-Serv OG3 | | | | | | | |
|----------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,6 | 3,7 | 3,2 | 3,3 | 3,2 | 3,3 | 3,1 | 3,2 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,8 |
| Activité Service | 4,8 | 4,9 | 4,6 | 4,7 | 4,6 | 4,6 | 4,5 | 4,6 |
| demande totale livraisons vente | 1744 | 1754 | 1587 | 1605 | 1526 | 1517 | 1379 | 1387 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1743 | 1752 | 1586 | 1604 | 1525 | 1516 | 1378 | 1386 |
| Taux satisfaction livraisons | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Interventions vente | 3869 | 3952 | 3554 | 3534 | 3483 | 3521 | 3302 | 3258 |
| Nombre totale Interventions vente | 3863 | 3946 | 3550 | 3530 | 3478 | 3516 | 3299 | 3254 |
| Taux satisfaction Interventions | 99,8% | 99,8% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande Collecte | 1840 | 1837 | 1837 | 1835 | 1842 | 1838 | 1834 | 1838 |
| Nombre Collecte | 1835 | 1831 | 1831 | 1830 | 1836 | 1833 | 1828 | 1832 |
| Taux satisfaction collecte | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% |
| Taux satisfaction Service vente | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% |
| Demande totale Livraisons PSS | 320 | 323 | 296 | 292 | 287 | 280 | 260 | 251 |
| Nombre total de livraisons PSS | 320 | 323 | 296 | 292 | 287 | 279 | 260 | 251 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1861 | 2157 | 1588 | 1759 | 1715 | 1929 | 1640 | 1852 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1860 | 2155 | 1587 | 1758 | 1714 | 1928 | 1639 | 1851 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 433 | 429 | 232 | 229 | 411 | 407 | 394 | 386 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 364 | 361 | 196 | 192 | 349 | 344 | 335 | 328 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 84,2% | 84,2% | 84,6% | 84,0% | 84,8% | 84,6% | 84,9% | 84,9% |
| Demande totale Récupération PSS | 205 | 207 | 200 | 198 | 184 | 180 | 164 | 158 |
| Nombre total Récupération PSS | 205 | 207 | 200 | 198 | 184 | 180 | 164 | 158 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Taux satisfaction Services PSS | 97,5% | 97,7% | 98,4% | 98,5% | 97,5% | 97,7% | 97,5% | 97,7% |
| Retard Interventions PSS | 29 | 32 | 50 | 52 | 35 | 40 | 39 | 43 |
| Retard Livraisons PSS | 9 | 9 | 9 | 8 | 8 | 7 | 6 | 7 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Temps Attente Service Collecte | 19 | 19 | 19 | 18 | 20 | 19 | 19 | 19 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps Attente Service récupération | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 26 | 54 | 4 | 6 | 10 | 7 | 8 | 6 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 27 | 54 | 5 | 7 | 11 | 8 | 9 | 7 |
| Temps Attente Ressource Finition | 29 | 56 | 7 | 8 | 12 | 10 | 10 | 8 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 40 | 70 | 12 | 15 | 18 | 17 | 15 | 14 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 36 | 65 | 9 | 12 | 15 | 14 | 13 | 11 |
| OF Satisfait en Retarde | 17 | 38 | 1 | 1 | 6 | 1 | 2 | 0 |
| OF Satisfait a temps | 2675 | 2650 | 2695 | 2695 | 2689 | 2695 | 2693 | 2696 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 99,2% | 98,3% | 100% | 100% | 99,8% | 100% | 99,9% | 100% |
| Stock PF1 Moyen | 111 | 88 | 0 | 0 | 627 | 634 | 882 | 886 |
| Stock PF2 Moyen | 97 | 81 | 491 | 477 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 496 | 503 | 456 | 451 | 441 | 433 | 399 | 385 |
| Parc vente | 4512 | 4516 | 4062 | 4090 | 3890 | 3889 | 3537 | 3548 |
| Satisfaction Acte vente | 98,6% | 95,6% | 63,0% | 62,9% | 50,7% | 50,7% | 43,2% | 43,1% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 98,8% | 95,5% | 62,2% | 62,7% | 50,6% | 52,1% | 43,2% | 43,6% |

Tableau 73 Configuration Poly2-Serv OG3

| | Spécialisation OG4 | | | | | | | |
|----------------------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,4 | 3,6 | 3,6 | 3,6 | 3,4 | 3,4 | 3,3 | 3,4 |
| Activité Remanufacturing | 1,4 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,3 | 1,3 |
| Activité Service | 4,9 | 4,9 | 4,6 | 4,6 | 4,7 | 4,7 | 4,5 | 4,6 |
| demande totale livraisons vente | 1712 | 1740 | 1604 | 1597 | 1521 | 1525 | 1374 | 1388 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1325 | 1391 | 1449 | 1452 | 1250 | 1303 | 1169 | 1188 |
| Taux satisfaction livraisons | 77,4% | 79,9% | 90,3% | 90,9% | 82,2% | 85,4% | 85,1% | 85,6% |
| Demande totale Interventions vente | 2429 | 2544 | 2896 | 2898 | 2473 | 2658 | 2559 | 2569 |
| Nombre totale Interventions vente | 1888 | 1999 | 2608 | 2603 | 2085 | 2316 | 2310 | 2309 |
| Taux satisfaction Interventions | 77,7% | 78,6% | 90,1% | 89,8% | 84,3% | 87,1% | 90,3% | 89,8% |
| Demande Collecte | 1837 | 1838 | 1839 | 1838 | 1837 | 1837 | 1840 | 1839 |
| Nombre Collecte | 1651 | 1795 | 1795 | 1790 | 1651 | 1702 | 1570 | 1607 |
| Taux satisfaction collecte | 89,9% | 97,7% | 97,6% | 97,4% | 89,8% | 92,7% | 85,3% | 87,4% |
| Taux satisfaction Service vente | 81,4% | 84,7% | 92,3% | 92,3% | 85,5% | 88,4% | 87,5% | 88,1% |
| Demande totale Livraisons PSS | 313 | 326 | 292 | 296 | 285 | 278 | 252 | 253 |
| Nombre total de livraisons PSS | 241 | 260 | 262 | 268 | 235 | 238 | 213 | 217 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 77,2% | 79,7% | 89,9% | 90,7% | 82,5% | 85,3% | 84,6% | 85,8% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 907 | 1111 | 1130 | 1291 | 955 | 1134 | 921 | 1066 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 811 | 1009 | 1075 | 1234 | 888 | 1073 | 885 | 1023 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 89,4% | 90,9% | 95,1% | 95,6% | 92,9% | 94,6% | 96,0% | 96,0% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 214 | 231 | 165 | 167 | 236 | 237 | 207 | 208 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 143 | 157 | 126 | 129 | 174 | 178 | 159 | 159 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 67,0% | 68,2% | 76,5% | 77,3% | 73,7% | 74,8% | 76,9% | 76,3% |
| Demande totale Récupération PSS | 116 | 128 | 151 | 157 | 134 | 140 | 140 | 139 |
| Nombre total Récupération PSS | 114 | 127 | 151 | 156 | 132 | 138 | 138 | 138 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 98,6% | 99,7% | 99,7% | 99,8% | 98,2% | 99,2% | 98,5% | 99,0% |
| Taux satisfaction Services PSS | 84,5% | 86,6% | 92,9% | 93,6% | 88,7% | 90,9% | 91,7% | 92,2% |
| Retard Interventions PSS | 30 | 27 | 40 | 34 | 42 | 41 | 49 | 45 |
| Retard Livraisons PSS | 52 | 59 | 45 | 43 | 47 | 43 | 31 | 35 |

| | | | | | | | | |
|------------------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps Attente Service Intervention Vente | 101 | 88 | 44 | 57 | 46 | 48 | 52 | 39 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 961 | 1264 | 550 | 469 | 635 | 625 | 156 | 291 |
| Temps Attente Service Collecte | 104 | 116 | 80 | 79 | 85 | 81 | 55 | 59 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 951 | 1270 | 563 | 457 | 614 | 603 | 163 | 271 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 97 | 69 | 39 | 51 | 44 | 47 | 49 | 36 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 102 | 71 | 42 | 53 | 46 | 44 | 52 | 39 |
| Temps Attente Service récupération | 20 | 25 | 16 | 11 | 15 | 10 | 6 | 10 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 13 | 15 | 15 | 15 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Temps Attente Ressource Finition | 16 | 18 | 18 | 18 | 13 | 13 | 12 | 12 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OF Satisfait en Retarde | 93 | 27 | 21 | 21 | 33 | 27 | 43 | 41 |
| OF Satisfait a temps | 2451 | 2650 | 2645 | 2644 | 2547 | 2586 | 2473 | 2502 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 90,9% | 98,3% | 98,1% | 98,1% | 94,5% | 95,9% | 91,7% | 92,8% |
| Stock PF1 Moyen | 94 | 105 | 0 | 0 | 614 | 618 | 876 | 858 |
| Stock PF2 Moyen | 93 | 97 | 474 | 474 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 476 | 505 | 451 | 454 | 435 | 426 | 385 | 389 |
| Parc vente | 4327 | 4513 | 4072 | 4071 | 3857 | 3892 | 3467 | 3502 |
| Satisfaction Acte vente | 99,6% | 100,0% | 62,7% | 63,0% | 51,3% | 50,9% | 43,5% | 44,1% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 99,6% | 100,0% | 63,0% | 62,7% | 51,6% | 51,0% | 42,2% | 43,1% |

Tableau 74 Configuration Spécialisation OG4

| | Poly1-Prod OG4 | | | | | | | |
|----------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,2 | 3,2 | 3,1 | 3,2 | 3,0 | 3,1 | 3,1 | 3,0 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Activité Service | 5,0 | 5,0 | 4,8 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 4,9 |
| demande totale livraisons vente | 1747 | 1735 | 1600 | 1588 | 1531 | 1524 | 1378 | 1386 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1258 | 1208 | 1350 | 1306 | 1246 | 1173 | 1132 | 903 |
| Taux satisfaction livraisons | 72,0% | 69,6% | 84,3% | 82,3% | 81,4% | 76,9% | 82,1% | 65,1% |
| Demande totale Interventions vente | 2086 | 1982 | 2638 | 2496 | 2354 | 2083 | 2139 | 1799 |
| Nombre totale Interventions vente | 1423 | 1307 | 2289 | 2045 | 1901 | 1552 | 1739 | 1369 |
| Taux satisfaction Interventions | 68,2% | 65,9% | 86,8% | 81,9% | 80,7% | 74,5% | 81,3% | 76,1% |
| Demande Collecte | 1836 | 1837 | 1837 | 1836 | 1836 | 1836 | 1833 | 1839 |
| Nombre Collecte | 1727 | 1708 | 1759 | 1689 | 1725 | 1674 | 1663 | 1607 |
| Taux satisfaction collecte | 94,1% | 93,0% | 95,7% | 92,0% | 94,0% | 91,2% | 90,7% | 87,4% |
| Taux satisfaction Service vente | 77,8% | 76,0% | 88,8% | 85,1% | 85,2% | 80,8% | 84,7% | 77,2% |
| Demande totale Livraisons PSS | 322 | 323 | 297 | 293 | 275 | 279 | 259 | 255 |
| Nombre total de livraisons PSS | 232 | 225 | 250 | 243 | 224 | 215 | 214 | 165 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 71,9% | 69,7% | 84,1% | 82,8% | 81,3% | 76,9% | 82,6% | 64,7% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 778 | 850 | 1039 | 1092 | 861 | 874 | 812 | 736 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 658 | 725 | 974 | 1008 | 784 | 778 | 740 | 674 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 84,6% | 85,3% | 93,7% | 92,3% | 91,1% | 89,1% | 91,1% | 91,5% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 185 | 184 | 154 | 148 | 206 | 194 | 194 | 151 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 110 | 106 | 114 | 107 | 142 | 123 | 133 | 102 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 59,7% | 57,7% | 74,0% | 71,9% | 68,8% | 63,7% | 68,9% | 67,8% |
| Demande totale Récupération PSS | 93 | 84 | 138 | 126 | 119 | 100 | 116 | 87 |

| | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nombre total Récupération PSS | 91 | 83 | 135 | 124 | 117 | 97 | 114 | 85 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 97,4% | 98,4% | 98,3% | 98,4% | 98,3% | 97,5% | 98,5% | 97,4% |
| Taux satisfaction Services PSS | 79,1% | 79,1% | 90,5% | 89,3% | 86,7% | 83,9% | 87,0% | 83,4% |
| Retard Interventions PSS | 16 | 18 | 35 | 42 | 34 | 36 | 40 | 42 |
| Retard Livraisons PSS | 68 | 68 | 45 | 49 | 56 | 60 | 57 | 33 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 107 | 205 | 59 | 122 | 85 | 74 | 69 | 56 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 944 | 729 | 366 | 390 | 390 | 417 | 297 | 113 |
| Temps Attente Service Collecte | 445 | 523 | 309 | 550 | 432 | 655 | 606 | 946 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 943 | 748 | 374 | 393 | 393 | 418 | 296 | 111 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 85 | 194 | 55 | 120 | 79 | 63 | 68 | 52 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 95 | 202 | 60 | 145 | 84 | 63 | 77 | 57 |
| Temps Attente Service récupération | 19 | 33 | 18 | 15 | 13 | 17 | 13 | 5 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 1 | 12 | 0 | 1 | 5 | 0 | 1 | 0 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 7 | 16 | 4 | 5 | 8 | 4 | 4 | 3 |
| Temps Attente Ressource Finition | 11 | 21 | 9 | 10 | 14 | 9 | 9 | 8 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 17 | 26 | 15 | 15 | 21 | 15 | 17 | 11 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 6 | 16 | 3 | 4 | 9 | 4 | 4 | 3 |
| OF Satisfait en Retarde | 96 | 128 | 63 | 98 | 95 | 114 | 97 | 181 |
| OF Satisfait a temps | 2569 | 2528 | 2613 | 2536 | 2573 | 2534 | 2535 | 2462 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 95,3% | 93,8% | 96,9% | 94,1% | 95,4% | 94,0% | 94,0% | 91,3% |
| Stock PF1 Moyen | 93 | 103 | 0 | 0 | 620 | 622 | 892 | 877 |
| Stock PF2 Moyen | 109 | 103 | 477 | 486 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 503 | 503 | 454 | 447 | 424 | 432 | 395 | 395 |
| Parc vente | 4519 | 4504 | 4079 | 4069 | 3914 | 3905 | 3520 | 3556 |
| Satisfaction Acte vente | 99,9% | 98,1% | 63,2% | 62,6% | 51,1% | 51,2% | 42,8% | 43,5% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 99,8% | 98,2% | 63,1% | 63,4% | 50,8% | 50,3% | 44,5% | 44,0% |

Tableau 75 Configuration Poly1-Prod OG4

| | Poly1-Serv OG2 | | | | | | | |
|------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,7 | 3,7 | 3,5 | 3,5 | 3,4 | 3,5 | 3,4 | 3,3 |
| Activité Remanufacturing | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,9 |
| Activité Service | 4,6 | 4,7 | 4,4 | 4,4 | 4,3 | 4,5 | 4,1 | 4,2 |
| demande totale livraisons vente | 1743 | 1741 | 1580 | 1580 | 1520 | 1517 | 1378 | 1400 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1728 | 1676 | 1579 | 1569 | 1517 | 1498 | 1368 | 1395 |
| Taux satisfaction livraisons | 99,1% | 96,3% | 99,9% | 99,3% | 99,8% | 98,7% | 99,3% | 99,6% |
| Demande totale Interventions vente | 3893 | 3668 | 3571 | 3539 | 3490 | 3355 | 3161 | 3161 |
| Nombre totale Interventions vente | 3836 | 3525 | 3562 | 3516 | 3476 | 3302 | 3137 | 3142 |
| Taux satisfaction Interventions | 98,5% | 96,1% | 99,7% | 99,4% | 99,6% | 98,4% | 99,2% | 99,4% |
| Demande Collecte | 1834 | 1837 | 1835 | 1837 | 1837 | 1840 | 1838 | 1837 |
| Nombre Collecte | 1823 | 1795 | 1827 | 1818 | 1829 | 1824 | 1820 | 1827 |
| Taux satisfaction collecte | 99,4% | 97,7% | 99,6% | 98,9% | 99,6% | 99,2% | 99,0% | 99,5% |
| Taux satisfaction Service vente | 98,9% | 96,5% | 99,7% | 99,2% | 99,6% | 98,7% | 99,2% | 99,5% |
| Demande totale Livraisons PSS | 325 | 318 | 298 | 294 | 276 | 282 | 252 | 250 |
| Nombre total de livraisons PSS | 323 | 306 | 298 | 292 | 275 | 278 | 251 | 249 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 99,2% | 96,1% | 99,9% | 99,3% | 99,8% | 98,6% | 99,3% | 99,7% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1483 | 1590 | 1415 | 1611 | 1302 | 1495 | 1158 | 1341 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| NB total Maintenance Curative PSS | 1471 | 1563 | 1412 | 1607 | 1299 | 1486 | 1154 | 1338 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 99,2% | 98,3% | 99,8% | 99,7% | 99,8% | 99,4% | 99,6% | 99,7% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 332 | 308 | 203 | 202 | 296 | 308 | 253 | 255 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 272 | 246 | 169 | 168 | 245 | 254 | 208 | 209 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 81,9% | 79,7% | 83,0% | 83,0% | 82,8% | 82,5% | 82,2% | 82,1% |
| Demande totale Récupération PSS | 219 | 201 | 200 | 196 | 194 | 195 | 180 | 179 |
| Nombre total Récupération PSS | 219 | 201 | 200 | 195 | 194 | 195 | 180 | 179 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,9% | 99,7% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,8% | 99,8% | 99,9% |
| Taux satisfaction Services PSS | 96,8% | 95,8% | 98,2% | 98,2% | 97,4% | 97,1% | 97,2% | 97,5% |
| Retard Interventions PSS | 34 | 42 | 43 | 51 | 68 | 59 | 60 | 68 |
| Retard Livraisons PSS | 24 | 26 | 19 | 18 | 22 | 22 | 19 | 20 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 15 | 19 | 9 | 11 | 10 | 13 | 9 | 10 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 39 | 136 | 5 | 6 | 10 | 58 | 17 | 17 |
| Temps Attente Service Collecte | 35 | 48 | 28 | 28 | 30 | 37 | 30 | 30 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 35 | 131 | 6 | 6 | 10 | 66 | 17 | 14 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 14 | 17 | 9 | 10 | 10 | 13 | 9 | 9 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 15 | 19 | 9 | 11 | 10 | 14 | 10 | 10 |
| Temps Attente Service récupération | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 64 | 129 | 21 | 35 | 40 | 60 | 36 | 20 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 67 | 129 | 26 | 39 | 43 | 62 | 39 | 23 |
| Temps Attente Ressource Finition | 73 | 134 | 32 | 45 | 49 | 69 | 45 | 30 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 131 | 263 | 50 | 80 | 75 | 130 | 77 | 69 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 123 | 267 | 35 | 60 | 62 | 121 | 62 | 60 |
| OF Satisfait en Retarde | 61 | 131 | 13 | 30 | 38 | 54 | 33 | 23 |
| OF Satisfait a temps | 2611 | 2491 | 2679 | 2649 | 2650 | 2622 | 2647 | 2664 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 96,9% | 92,4% | 99,4% | 98,2% | 98,3% | 97,3% | 98,2% | 98,8% |
| Stock PF1 Moyen | 88 | 74 | 0 | 0 | 608 | 613 | 883 | 875 |
| Stock PF2 Moyen | 85 | 62 | 476 | 478 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 502 | 488 | 459 | 454 | 422 | 430 | 385 | 386 |
| Parc vente | 4474 | 4416 | 4054 | 4039 | 3902 | 3846 | 3509 | 3538 |
| Satisfaction Acte vente | 93,2% | 90,3% | 63,4% | 63,5% | 50,8% | 51,7% | 43,5% | 43,5% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 93,1% | 90,0% | 63,1% | 63,7% | 50,0% | 52,8% | 42,3% | 43,6% |

Tableau 76 Configuration Poly1-Serv OG2

| | Poly2-Prod OG4 | | | | | | | |
|-------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,7 | 3,8 | 3,4 | 3,4 | 3,5 | 3,5 | 3,4 | 3,2 |
| Activité Remanufacturing | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |
| Activité Service | 4,9 | 4,9 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,5 |
| demande totale livraisons vente | 1744 | 1755 | 1594 | 1593 | 1532 | 1534 | 1382 | 1383 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1470 | 1435 | 1536 | 1545 | 1375 | 1462 | 1298 | 1354 |
| Taux satisfaction livraisons | 84,3% | 81,8% | 96,3% | 97,0% | 89,8% | 95,3% | 93,9% | 97,9% |
| Demande totale Interventions vente | 3163 | 3037 | 3353 | 3342 | 2969 | 3286 | 3003 | 3130 |
| Nombre totale Interventions vente | 2835 | 2690 | 3250 | 3265 | 2774 | 3190 | 2901 | 3078 |
| Taux satisfaction Interventions | 89,6% | 88,6% | 96,9% | 97,7% | 93,4% | 97,1% | 96,6% | 98,3% |
| Demande Collecte | 1836 | 1841 | 1840 | 1839 | 1838 | 1835 | 1838 | 1836 |
| Nombre Collecte | 1760 | 1768 | 1816 | 1822 | 1725 | 1786 | 1776 | 1824 |

Annexe 3 : Les résultats bruts des simulations

| | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux satisfaction collecte | 95,9% | 96,0% | 98,7% | 99,1% | 93,9% | 97,3% | 96,6% | 99,4% |
| Taux satisfaction Service vente | 90,0% | 88,9% | 97,3% | 97,9% | 92,7% | 96,7% | 96,0% | 98,5% |
| Demande totale Livraisons PSS | 321 | 325 | 292 | 294 | 288 | 281 | 257 | 258 |
| Nombre total de livraisons PSS | 272 | 267 | 282 | 286 | 258 | 267 | 241 | 252 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 84,7% | 82,2% | 96,5% | 97,1% | 89,8% | 95,2% | 93,8% | 97,9% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1203 | 1342 | 1306 | 1536 | 1171 | 1420 | 1095 | 1341 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1153 | 1286 | 1287 | 1521 | 1141 | 1404 | 1080 | 1333 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 95,8% | 95,9% | 98,5% | 99,0% | 97,5% | 98,9% | 98,6% | 99,4% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 270 | 262 | 196 | 198 | 274 | 284 | 243 | 252 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 209 | 201 | 161 | 164 | 221 | 231 | 197 | 207 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 77,4% | 76,8% | 82,0% | 82,5% | 80,6% | 81,5% | 80,8% | 81,9% |
| Demande totale Récupération PSS | 169 | 161 | 183 | 188 | 172 | 184 | 169 | 181 |
| Nombre total Récupération PSS | 166 | 159 | 183 | 188 | 171 | 184 | 168 | 180 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 98,2% | 98,2% | 99,6% | 99,6% | 99,1% | 99,8% | 99,5% | 99,9% |
| Taux satisfaction Services PSS | 91,7% | 91,5% | 96,7% | 97,3% | 94,0% | 96,2% | 95,5% | 97,0% |
| Retard Interventions PSS | 35 | 28 | 34 | 46 | 56 | 67 | 59 | 67 |
| Retard Livraisons PSS | 26 | 25 | 24 | 23 | 31 | 30 | 28 | 27 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 38 | 55 | 27 | 19 | 31 | 23 | 20 | 16 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 26 | 11 | 10 | 6 | 78 | 37 | 36 | 58 |
| Temps Attente Service Collecte | 279 | 301 | 84 | 63 | 410 | 180 | 244 | 43 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 35 | 12 | 12 | 7 | 91 | 39 | 40 | 54 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 34 | 51 | 24 | 18 | 27 | 22 | 19 | 15 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 35 | 54 | 26 | 19 | 29 | 23 | 20 | 16 |
| Temps Attente Service récupération | 49 | 5 | 6 | 2 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 4 | 4 | 1 | 1 | 4 | 2 | 2 | 1 |
| Temps Attente Ressource Finition | 5 | 5 | 2 | 1 | 5 | 2 | 3 | 1 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 9 | 9 | 4 | 3 | 7 | 4 | 4 | 3 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 6 | 6 | 3 | 2 | 5 | 3 | 4 | 2 |
| OF Satisfait en Retarde | 50 | 51 | 10 | 7 | 61 | 22 | 28 | 1 |
| OF Satisfait a temps | 2624 | 2628 | 2682 | 2688 | 2597 | 2660 | 2650 | 2695 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 97,3% | 97,5% | 99,5% | 99,7% | 96,3% | 98,7% | 98,3% | 100% |
| Stock PF1 Moyen | 113 | 108 | 0 | 0 | 627 | 617 | 879 | 888 |
| Stock PF2 Moyen | 85 | 89 | 492 | 499 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 498 | 504 | 448 | 451 | 440 | 431 | 396 | 396 |
| Parc vente | 4529 | 4525 | 4063 | 4066 | 3896 | 3915 | 3554 | 3530 |
| Satisfaction Acte vente | 98,2% | 98,4% | 63,4% | 63,0% | 51,0% | 51,1% | 43,7% | 43,2% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 98,3% | 98,3% | 62,3% | 62,3% | 51,3% | 50,7% | 43,4% | 42,9% |

Tableau 77 Configuration Poly2-Prod OG4

| | Poly2-Serv OG4 | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Sc 1 | Sc 2 | Sc 3 | Sc 4 | Sc 5 | Sc 6 | Sc 7 | Sc 8 |
| Activité production | 3,4 | 3,6 | 3,2 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 3,0 | 3,0 |
| Activité Remanufacturing | 1,8 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 |
| Activité Service | 4,7 | 4,8 | 4,6 | 4,6 | 4,5 | 4,6 | 4,4 | 4,4 |
| demande totale livraisons vente | 1732 | 1734 | 1597 | 1586 | 1528 | 1518 | 1397 | 1389 |
| Nombre totale de livraisons vente | 1731 | 1733 | 1596 | 1585 | 1527 | 1517 | 1396 | 1388 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Taux satisfaction livraisons | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Interventions vente | 3964 | 3962 | 3575 | 3558 | 3486 | 3509 | 3285 | 3220 |
| Nombre totale Interventions vente | 3959 | 3955 | 3570 | 3554 | 3482 | 3505 | 3281 | 3216 |
| Taux satisfaction Interventions | 99,9% | 99,8% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande Collecte | 1840 | 1841 | 1837 | 1838 | 1841 | 1837 | 1842 | 1837 |
| Nombre Collecte | 1834 | 1835 | 1831 | 1833 | 1835 | 1831 | 1836 | 1831 |
| Taux satisfaction collecte | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% | 99,7% |
| Taux satisfaction Service vente | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% | 99,8% |
| Demande totale Livraisons PSS | 320 | 322 | 293 | 296 | 284 | 280 | 256 | 257 |
| Nombre total de livraisons PSS | 320 | 322 | 293 | 295 | 284 | 280 | 256 | 256 |
| Taux satisfaction livraisons PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Demande totale Maintenance Curative PSS | 1505 | 1774 | 1416 | 1624 | 1346 | 1533 | 1205 | 1398 |
| NB total Maintenance Curative PSS | 1504 | 1772 | 1415 | 1623 | 1346 | 1532 | 1204 | 1397 |
| Taux satisfaction Maintenance Curative PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 100% | 99,9% |
| Demande totale Maintenance Préventive PSS | 325 | 334 | 213 | 207 | 306 | 308 | 271 | 263 |
| Nombre total Maintenance Préventive PSS | 270 | 277 | 179 | 172 | 255 | 255 | 223 | 217 |
| Taux satisfaction Maintenance préventive PSS | 82,9% | 82,7% | 83,7% | 83,5% | 83,1% | 82,9% | 82,6% | 82,4% |
| Demande totale Récupération PSS | 220 | 222 | 194 | 199 | 202 | 198 | 186 | 185 |
| Nombre total Récupération PSS | 220 | 222 | 194 | 199 | 201 | 198 | 185 | 184 |
| Taux satisfaction Récupération PSS | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% | 99,9% |
| Taux satisfaction Services PSS | 97,6% | 97,8% | 98,3% | 98,5% | 97,5% | 97,7% | 97,5% | 97,7% |
| Retard Interventions PSS | 28 | 38 | 41 | 56 | 32 | 30 | 33 | 33 |
| Retard Livraisons PSS | 10 | 8 | 10 | 9 | 7 | 8 | 7 | 7 |
| Temps Attente Service Intervention Vente | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| Temps Attente Livraisons Vente | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Temps Attente Service Collecte | 20 | 20 | 19 | 19 | 20 | 19 | 19 | 19 |
| Temps Attente Livraisons PSS | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Temps Attente Service Maintenance C PSS | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| Temps Attente Service Maintenance P PSS | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 |
| Temps Attente Service récupération | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 1 | 7 | 89 | 5 | 26 | 5 | 8 | 5 | 4 |
| Temps Attente Ressource Assemblage 2 | 8 | 86 | 6 | 25 | 6 | 9 | 6 | 5 |
| Temps Attente Ressource Finition | 10 | 84 | 7 | 25 | 7 | 10 | 7 | 6 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 1 | 19 | 102 | 12 | 33 | 13 | 17 | 11 | 10 |
| Temps Attente Ressource Désassemblage 2 | 15 | 100 | 10 | 31 | 10 | 14 | 9 | 8 |
| OF Satisfait en Retarde | 1 | 50 | 0 | 15 | 0 | 4 | 2 | 0 |
| OF Satisfait a temps | 2695 | 2626 | 2696 | 2674 | 2696 | 2692 | 2694 | 2696 |
| Nombre OF | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 | 2696 |
| Taux satisfaction OF | 100% | 97,4% | 100% | 99,2% | 100% | 99,8% | 99,9% | 100% |
| Stock PF1 Moyen | 108 | 92 | 0 | 0 | 631 | 636 | 874 | 885 |
| Stock PF2 Moyen | 110 | 67 | 479 | 472 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parc PSS | 497 | 494 | 453 | 452 | 432 | 430 | 392 | 397 |
| Parc vente | 4509 | 4442 | 4092 | 4069 | 3897 | 3889 | 3554 | 3538 |
| Satisfaction Acte vente | 100% | 93,3% | 62,8% | 63,0% | 50,6% | 50,8% | 43,4% | 43,3% |
| Satisfaction acte PSS (produit) | 100% | 93,0% | 63,0% | 62,7% | 51,7% | 50,4% | 43,3% | 42,6% |

Tableau 78 Configuration Poly2-Serv OG4

NNT : 2014 EMSE 0754

Malik Eddine CHALAL

DECISION SUPPORT FOR SERVITIZATION OF INDUSTRIAL SMES: A MODELING AND SIMULATION APPROACH

Speciality : Industrial Engineering

Keywords : Product-service systems, Servitization, Modeling of production systems, Process simulation.

Abstract :

The ever-continuing evolution of business practices leads the decision-makers to develop strategies based on innovative approaches. One of them is the transition to a product-services system, called servitization. The main goal of this thesis is to provide a decision support in order to anticipate the performance of a company when different transition management scenarios are implemented. The first step toward this objective is the formalization of a conceptual model of product-service systems. They consist of two subsystems: (i) user-oriented subsystem and (ii) production-oriented subsystem. These subsystems are connected and interdependent. The model developed in the second step of the thesis takes into account this coupling, whose influence on the overall performance of the company is assessed thanks to a discrete-event simulation approach. Finally a case study is performed for a french SME (ENVIE) whose line of business is the re-manufacturing of electrical equipment. The analysis results highlight the main areas of improvement for the company, allowing a better transition to a product-service system.

NNT : 2014 EMSE 0754

Malik Eddine CHALAL

AIDE A LA DECISION POUR LA SERVICISATION DES PME
INDUSTRIELLES: UNE APPROCHE PAR MODELISATION ET
SIMULATION

Spécialité: Génie Industriel

Mots clefs : Système Produit-Service, Servicisation, Modélisation, Simulation des systèmes de production.

Résumé :

L'évolution permanente de l'environnement de l'entreprise pousse les décideurs à s'inscrire dans une démarche constante d'innovation. Nous assistons ainsi à une mutation des pratiques de certaines entreprises industrielles en intégrant de plus en plus une offre d'un système « produits-services » par un processus de servicisation. Notre objectif, à travers cette thèse, est d'apporter une aide à la décision qui reposera sur la capacité à anticiper la performance du système en fonction de différentes décisions de gestion et face à différents types d'aléas lors de la servicisation. Le premier besoin pour notre aide à la décision est la nécessité de construire une démarche de modélisation et de simulation avec un modèle conceptuel du système de production orienté PSS. Pour cela nous avons proposé une décomposition de notre système entreprise orientée PSS en deux sous-systèmes : (i) Le sous-système d'usage et (ii) le sous système productif. Les deux sous-systèmes sont connectés et interdépendant. Un deuxième besoin qui apparait pour notre problématique est la construction d'un modèle simulable et exploitable. Nous avons utilisé la simulation à événements discret afin de profiter de l'aspect « évènementiel » de cette approche et ainsi coupler entre le système d'usage et le système productif d'une part, et d'autre part entre les activités de services et les activités de production. Une application de notre démarche de modélisation et simulation sur un cas d'étude (Entreprise ENVIE) a été effectuée et une analyse et interprétation des résultats suivies d'un ensemble de propositions de gestion pour une meilleure transition vers une offre PSS ont été apportées.