



HAL
open science

Modélisation et simulation des systèmes de production de services : application à un système de sante

Mariem Sbayou

► **To cite this version:**

Mariem Sbayou. Modélisation et simulation des systèmes de production de services : application à un système de sante. Autre. Université de Bordeaux, 2018. Français. NNT : 2018BORD0422 . tel-02129659

HAL Id: tel-02129659

<https://theses.hal.science/tel-02129659>

Submitted on 15 May 2019

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.

THÈSE PRÉSENTÉE

POUR OBTENIR LE GRADE DE

**DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX**

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES PHYSIQUES ET DE L'INGÉNIEUR

SPECIALITÉ : PRODUCTIQUE

Par Mariem SBAYOU

**MODELISATION ET SIMULATION DES SYSTEMES DE
PRODUCTION DE SERVICES : APPLICATION A UN SYSTEME
DE SANTE**

Sous la Direction de Bruno VALLESPIR et la Co-Direction de Gregory ZACHAREWICZ

Soutenue le 18 Décembre 2018 à 10:00

Membres du jury :

Mme. BRIL-EL HAOUZI, Hind

Maître de Conférences HDR

Université de Lorraine

Rapporteur

M. MONTEIRO, Thibaud

Professeur des Universités

INSA LYON

Rapporteur

M. VALLESPIR, Bruno

Professeur des Universités

Université de Bordeaux

Directeur

M. ZACHAREWICZ, Gregory

Professeur de l'Institut Mines Telecom

IMT - Mines d'Alès

Co-Directeur

M. BOURRIERES, Jean-Paul

Professeur des Universités

Université de Bordeaux

Examineur

M. PINGAUD, Hervé

Professeur des Universités

INU Champollion - Castres

Examineur

Titre : Modélisation et Simulation des systèmes de production de services : application à un système de sante

Résumé : La croissance rapide du secteur des services est une tendance remarquable dans le monde entier. La complexité de conceptualisation des services est souvent liée à leur modélisation, leur conception, et la gestion des interactions possibles entre le client et le fournisseur. Parmi ces services, les services de santé constituent un des services publics fondamentaux de la société et de l'économie moderne. Les grands défis que doit relever ce secteur concernent sa gouvernance, la coordination et l'accessibilité aux soins. Cette dernière peut être liée à une répartition géographique déséquilibrée des médecins et des temps d'attente souvent élevés. Dans ce contexte, une approche basée sur la Modélisation et la Simulation, en tenant en compte de l'hétérogénéité possible des environnements, est proposée pour analyser les problèmes de gestion d'un territoire de service. Cette approche permet une vision globale du fonctionnement du système de service étudié, en tenant compte des facteurs impactant à la fois le choix des usagers des services et le processus de production du service.

MOTS CLES : Services, services de santé, modélisation & simulation, conceptualisation des services, coordination, accessibilité

Title: Modeling and Simulation of systems of services production: application on a healthcare system

Abstract: The rapid growth of the services sector, especially modern services, is a remarkable trend around the world. The complexity of conceptualizing services is often related to their modeling, their design, and the management of possible interactions between the customer and the provider. One of the fundamental public services is health services, the major challenges faced by health services are: governance, coordination and accessibility to care. The accessibility of care is usually linked to an unbalanced geographic distribution of doctors and a high waiting time. In this context, an approach based on Modeling and Simulation taking into account the possible heterogeneity of modeling environments is proposed in order to analyze the problems related to the management of a service territory. This approach aims to give a global vision of the functioning of the service system studied, by taking into account the related factors impacting both the choice of service users and the process of service production.

KEYWORDS: Services, health services, modeling and simulation, service conceptualization, coordination, accessibility

Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système
[IMS, CNRS UMR 5218, Bât. A31 - 351 Cours de la Libération - 33400 Talence]

REMERCIEMENTS

Je ne saurai jamais commencer ce rapport sans remercier Dieu tout puissant et miséricordieux qui m'a donné grâce et bénédiction pour mener à terme ce travail.

Mes remerciements les plus chaleureux s'adressent tout particulièrement à mes encadrants M. Gregory ZACHAREWICZ professeur à l'école des Mines d'Alès, et M. Bruno VALLESPER professeur à l'université de Bordeaux pour l'aide qu'ils m'ont procurée pendant ces années de travail. Je tiens également à les remercier pour leur disponibilité et leurs conseils perpétuels.

Mes remerciements s'adressent à M. Jean-Paul BOURRIERES d'avoir accepté de présider mon jury de thèse, à Mme. Hind BRIL-EL-HAOUZI titulaire d'un HDR à l'université de Lorraine et M. Thibaud MONTEIRO professeur de l'INSA de Lyon d'avoir accepté de rapporter et d'apporter des remarques à ce rapport et M. PINGAUD, Hervé de l'Institut National Universitaire Champollion d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie également tous les encadrants, les doctorants, chercheurs et personnels du laboratoire IMS pour leur gentillesse et les bons moments passés ensemble. Je remercie particulièrement M. Yves DUCQ professeur de l'université de Bordeaux et responsable de l'équipe productique pour son accueil.

Enfin, je tiens à exprimer les plus profonds remerciements à mon père pour son amour, l'éducation qu'il m'a prodiguée ; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'il a consenti à mon égard « Le père ne donne que ce qui est parfait ». À ma mère pour son soutien et ses encouragements, à mes sœurs et mon frère Mohamed qui m'ont soutenu énormément, à Mama lhaja, Zahra, mon oncle Simohamed et mes grands-parents pour leur amour inconditionnel.

Finalement, un grand merci à tous mes ami(es) (Youssef, Ouiame, Reda, Yousra, Roxana et Asmaa) qui sont toujours présents pendant les périodes les plus difficiles.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE ET ENJEUX DE RECHERCHE.....	1
1> LE SECTEUR DES SERVICES	1
1.1 Le secteur des services et son évolution.....	1
1.2 La concurrence dans le secteur des services	2
1.3 Les services publics	3
1.4 Le secteur de la santé	4
1.5 L'évaluation	4
1.6 Questionnements scientifiques.....	7
2> CARACTERISATION ET MODELISATION DES SERVICES (Touzi, 2011)9	9
2.1 Caractérisation des services	9
2.1.1 Le service par opposition aux biens.....	9
2.1.2 Le service en tant qu'activité	10
2.1.3 Le service pour la création de valeur	10
2.2 Modélisation des services	11
2.2.1 Niveau 1	11
2.2.2 Niveau 2	12
2.2.3 Niveau 3	14
2.3 Démarche de conceptualisation du service	15
2.3.1 Phase 1 : Identification des objets	15
2.3.2 Phase 2 : Identification des fonctions et des besoins	16
2.3.3 Phase 3 : Identification et cartographie des interactions.....	16
2.3.4 Phase 4 : Etablissement des scénarios des services	16
2.3.5 Phase 5 : Description des processus de servuction	16
3> MODELISATION DES PARCOURS DE SOINS (Benabdejlil, 2016)	16
3.1 Parcours de soins.....	17
3.2 Modélisation des parcours de soins.....	20
3.3 Le langage de modélisation retenu.....	22
3.4 Architecture de services basée sur les processus de soins.....	23
4> DE LA MODELISATION A LA SIMULATION (Bazoun, 2015) (Bouanan, 2016)	24
4.1 Concepts de Transformation de Modèles de BPMN 2.0 vers DEVS (Bazoun, 2015)	24
4.1.1 Architecture de Transformation BPMN vers DEVS	25
4.1.2 Mapping de Concepts	26
4.2 Modélisation du comportement des agents pour la simulation (Bouanan, 2016).....	27
4.2.1 La simulation de la propagation d'information	27
4.2.2 Description du comportement des agents	28
5> CONCLUSIONS	28
6> QUESTIONNEMENTS SCIENTIFIQUES	29
CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART	33
1> LES SERVICES	33
1.1 Taxonomie des services	33
1.1.1 La perspective technologique	34

1.1.2	La perspective métier	35
1.1.3	La perspective applicative	36
1.2	Caractéristiques des services	37
1.2.1	L'intangibilité	37
1.2.2	L'hétérogénéité.....	38
1.2.3	L'inséparabilité.....	39
1.2.4	La périssabilité.....	40
1.3	Le processus de production d'un service	40
1.4	Relation consommateur/Fournisseur de Services.....	41
1.5	Concept d'évaluation des services	42
2> APPROCHES DE MODELISATION ET SIMULATION APPLIQUEES AUX SERVICES.....		43
2.1	Modélisation d'entreprise	43
2.1.1	Processus d'entreprise	44
2.1.1.1	Processus métiers	44
2.1.1.2	Workflows	47
2.1.1.3	Processus métier et Workflow	50
2.1.2	Langages de modélisation des processus d'entreprise	51
2.1.2.1	Suite IDEF	52
2.1.2.2	UML.....	53
2.1.2.3	BPMN.....	54
2.1.2.4	GRAI Extended Actigram.....	55
2.1.3	Autres méthodes de modélisation d'entreprise	55
2.1.3.1	CIMOSA.....	56
2.1.3.2	GRAI.....	58
2.1.3.3	PERA	59
2.1.3.4	ARIS	61
2.1.3.5	GERAM.....	62
2.2	Approches de modélisation et simulation discrètes	63
2.2.1	Théorie de la Modélisation et de la Simulation (M&S).....	63
2.2.1.1	Objectifs de la modélisation et simulation	65
2.2.1.2	Formalismes de modélisation et simulation discrets	66
2.2.2	Modélisation et Simulation à base d'agent.....	69
2.2.2.1	Agent.....	69
2.2.2.2	Modélisation et Simulation basées agent	70
2.2.3	Outils de Simulation	71
2.2.4	Simulation de services	72
3> MODELISATION ET SIMULATION POUR LES SERVICES DE SANTE		73
3.1	Modélisation et Simulation en santé orientée Flux	74
3.2	Modélisation centrée comportement patient	75
3.3	Validation et vérification des modèles de simulation.....	76
4> CONCLUSION.....		77
CHAPITRE 3 : CONTRIBUTION GENERALE.....		80
1> ANALYSE DE LA COMPOSITION ET LA DYNAMIQUE D'UN SYSTEME DE SERVICE		80
1.1	Structure des entités d'un système de service	80
1.2	Analyse des interactions Consommateur/Fournisseur de services	82
1.2.1	Définition du service	82

1.2.2	Comportement Consommateur/Fournisseur	82
1.2.2.1	Concept d'annuaire	83
1.2.2.2	Critères de choix	84
1.2.3	Règles de choix.....	86
1.2.3.1	Règle de choix selon un seul critère.....	86
1.2.3.2	Règle Hybride : choix en fonctions de plusieurs critères	86
1.2.4	Approche d'évaluation des services basée sur la population	86
2>	INTEGRATION DE BPMN DANS UN SYSTEME MULTI-AGENTS.....	88
2.1	Cartographie du processus de production de services	89
2.1.1	Parcours Consommateurs	89
2.1.2	Langage de modélisation des processus retenu	89
2.2	Apport des systèmes multi-agents basés DEVS.....	90
2.2.1	Méta-Modèle DEVS.....	91
2.2.2	Adaptation dynamique lors de la simulation	92
2.2.3	Comportements des agents	93
2.2.3.1	Structure d'un examen BPMN en XML	93
2.2.3.2	L'agent « <i>BpDevs</i> ».....	95
2.2.3.3	L'agent « <i>consommateur</i> ».....	96
2.2.3.4	L'agent « <i>Fournisseur</i> ».....	97
3>	ARCHITECTURE MULTI-PERSPECTIVES A BASE D'AGENTS	97
3.1	Perspective du comportement individuel	98
3.2	Perspective de l'allocation des ressources	98
3.3	Perspective de la dynamique de population	98
3.4	Vers une architecture multi-perspectives pour les systèmes multi-agents	98
3.4.1	Environnement de simulation VLE	99
3.4.2	Diagramme de classe adapté à l'architecture.....	100
3.4.3	Aperçu général.....	101
3.5	Méthode ANOVA pour la validation	102
4>	CONCLUSION.....	103
	CHAPITRE 4 : APPLICATION A UN TERRITOIRE DE SANTE.....	104
1>	APPLICATION AU SYSTEME DE SANTE.....	104
1.1	Aspects traités dans l'étude de cas	105
1.1.1	Niveaux de soin	105
1.1.2	Les défis du système de santé étudié	106
1.1.3	Les objectifs de la M&S	106
1.2	Les résultats de la simulation	106
2>	LE SYSTEME DE SANTE FRANÇAIS	107
2.1	Organisation du système de santé en France.....	107
2.2	Défis du système de santé en France.....	109
2.3	Etude de cas	110
2.3.1	Distribution des médecins	110
2.3.2	Le département de la Dordogne.....	112
2.3.2.1	Le département.....	112
2.3.2.2	Population Patients.....	113
2.3.2.3	Population des Ressources	113
2.3.2.4	Parcours de soin d'un patient (Parcours Patient)	115
2.3.2.5	Les règles de gestion appliquées	117

2.3.3	Scénarios et Résultats de simulation.....	118
2.3.3.1	Résultat pour la règle 1	120
2.3.3.2	Résultat pour la règle 2	121
2.3.3.3	Résultat pour la règle 3	121
2.3.3.4	Validation de la population d'étude	123
2.3.3.5	Résultats avec une redistribution géographique de ressources.....	124

3> CONCLUSION..... 126

CONCLUSION GENERALE..... 127

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Représentation d'un service (Touzi, 2011)	11
Figure 2.	Version vectorielle dans le cas d'une approche multi-services (Touzi, 2011).....	12
Figure 3.	Représentation du processus de servuction (Touzi, 2011).....	13
Figure 4.	Modes de déclenchement du services (Touzi, 2011)	14
Figure 5.	Grafcet d'un exemple de service de santé (Touzi, 2011)	15
Figure 6.	Les différentes notions de parcours (ARS, 2013)	18
Figure 7.	Concepts sous-tendant la notion de parcours (Benabdejlil et al., 2014).....	19
Figure 8.	Méta-modèle simplifié de GEA modifié (parcours type) (Benabdejlil, 2016)	22
Figure 9.	Modèle du bloc traitement de la grippe A H1N1	23
Figure 10.	Architecture de services basée sur les processus de soins (Benabdejlil, 2016)	24
Figure 11.	Architecture de Transformation BPMN vers DEVS (Bazoun, 2015)	25
Figure 12.	Cycle de modélisation et de simulation (Bouanan, 2016)	27
Figure 13.	Modèle de service web	35
Figure 14.	Hiérarchie de Services (Rosen et al., 2012).....	37
Figure 15.	Méta modèle du processus métier (Mili et al., 2010; Morley et al., 2005).....	46
Figure 16.	Méta modèle du Workflow selon (Hollingsworth, 1995)	49
Figure 17.	Cycle de vie BPM : gestion des Workflows et BPM (Van Der Aalst et al., 2003)	51
Figure 18.	IDEF0 : Schéma de base	52
Figure 19.	Diagramme IDEF3 (Abdmouleh, 2004)	53
Figure 20.	GRAI Extended Actigram	55
Figure 21.	Cube CIMOSA(Amice, 1993)	57
Figure 22.	Exemple de Grille GRAI (Vallespir et Doumeingts, 2002).....	59
Figure 23.	Exemple de Réseau GRAI (Vallespir et Doumeingts, 2002)	59
Figure 24.	Structure de l'architecture PERA	60
Figure 25.	Architecture ARIS (Scheer, 1992)	61
Figure 26.	Structure tridimensionnelle de GERA.....	62
Figure 27.	Processus de M&S selon B.P Zeigler	63
Figure 28.	Différents types de modèles	65
Figure 29.	Modèle atomique/couplé DEVS	69
Figure 30.	Eléments de base de SES (Zeigler et Sarjoughian, 2017)	81
Figure 31.	La structure de base des entités d'un système de service	81
Figure 32.	Relation bidirectionnelle C/F	82
Figure 33.	Concept d'annuaire de services	83
Figure 34.	Description du comportement global	84
Figure 35.	Processus simplifié selon la règle de choix hybride	87
Figure 36.	Population fournisseurs/consommateurs	88
Figure 37.	Exemple BPMN simplifié d'un parcours consommateur.....	90
Figure 38.	Méta modèle simplifié DEVS.....	92
Figure 39.	Principaux éléments du fichier XML généré	94

Figure 40. Comportement du Modèle BpDevs	95
Figure 41. Comportement du Modèle consommateur	96
Figure 42. Comportement du Modèle Fournisseur	97
Figure 43. Approche multi-perspectives	97
Figure 44. Interface graphique GVLE	99
Figure 45. Diagramme de classe adapté pour l'architecture proposée	100
Figure 46. Approche de modélisation et simulation multi-perspectives	101
Figure 47. Architecture globale de contribution	102
Figure 48. Structure des entités d'un système de santé (Traoré et al. 2018)	105
Figure 49. Organisation du système de santé	108
Figure 50. La densité médicale en France (CNOM, 2014)	112
Figure 51. Pyramide de la population de Dordogne.....	113
Figure 52. Distribution des ressources de santé (G, R, ORL) en Dordogne	114
Figure 53. Parcours Patient BPMN.....	116
Figure 54. Proportion de la population patients par niveau	117
Figure 55. Algorithme de la règle #1	117
Figure 56. Algorithme de la règle #2	117
Figure 57. Algorithme de la règle #3	118
Figure 58. Localisation des quatre communes d'étude	119
Figure 59. Résultats de Simulation pour la règle 1	121
Figure 60. Résultats de Simulation pour la règle 2	121
Figure 61. Résultats de Simulation pour la règle 3 (A)	122
Figure 62. Résultats de Simulation pour la règle 3 (B)	123
Figure 63. Résultats de Simulation pour la règle 3 (C).....	123
Figure 64. Résultats Test ANOVA par R.....	124
Figure 65. Résultats simulation 2 pour la règle 1	125
Figure 66. Résultats simulation 2 pour la règle 2	125

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Analogie entre les éléments BPMN et composants DEVS.....	26
Tableau 2. Niveaux de spécification selon (Klir, 1985)	64
Tableau 3. Finalités de la simulation selon (Treuil et al., 2008)	66
Tableau 4. Nombre d'habitants des communes d'études	118
Tableau 5. Temps moyen d'attente médecin	119
Tableau 6. Validation de la population d'étude	124

INTRODUCTION

Les activités de services connaissent depuis plusieurs années une dynamique forte et occupent aujourd'hui une place dominante dans l'économie européenne et celles des pays industriellement développés. Dans les pays à forte croissance, leur part ne cesse d'augmenter. Intégrés dans une économie mondialisée, soumis à des exigences de compétitivité élevées, les services connaissent aujourd'hui de profondes évolutions structurelles et un changement de modèle d'activité liés à des facteurs technologiques, économiques, démographiques et sociaux. Ces mutations vont, à court ou moyen terme, exiger des compétences nouvelles pour comprendre les enjeux et y répondre : maîtrise des technologies, nouveaux modes d'interaction avec les consommateurs et nouveaux modes de facturation.

La croissance rapide du secteur des services, et notamment celle des nouveaux services rendus possibles par les TIC, est une tendance remarquable dans le monde entier. Parmi ces services, on trouve les services publics qui sont souvent définis comme un ensemble de services collectifs dédiés à une population. Qu'il soit assuré par l'Etat, des collectivités locales, des organismes de protection sociale ou des établissements publics, le service public est confronté à des tensions issues de ressources financières contraintes et d'une attente accrue de services publics de qualité. D'autre part, le secteur de services se retrouve face à plusieurs défis relatifs à la qualité, au coût et à la performance. Les situations de réglementation nécessitent d'adopter une politique d'évaluation rigoureuse. En France et en Europe, le secteur de la santé occupe une place importante dans le secteur des services. En effet, les services de santé sont l'un des services publics fondamentaux des sociétés et économies modernes. La protection de la santé des populations nécessitent des actions de prise en charge et, également, des actions de prévention. Du fait de sa complexité organisationnelle, l'évaluation du système de santé s'avère difficile et constitue un défi majeur pour les professionnels du domaine. C'est dans ce sens que se situent nos travaux de recherche.

Dernièrement, le secteur des services et principalement le secteur de santé a attiré l'attention de nombreux chercheurs, le but ces derniers visant à apporter des améliorations au système et à proposer des outils d'aide à la décision aux dirigeants et aux professionnels du domaine. Parmi ces outils, la simulation permet de modéliser le fonctionnement futur d'un système soumis à des contraintes nombreuses et hétérogènes. Dans un contexte global, l'amélioration de l'efficacité et de l'efficience des processus de production de services (soins ou autres) profite de l'utilisation des techniques de simulation. En effet, les modèles analytiques de la recherche opérationnelle, fréquemment utilisés dans ce type de problème, ne permettent pas de prendre en compte la réalité temporelle des processus, la disponibilité des ressources ni la dynamique des interactions entre les entités.

La problématique abordée dans cette thèse se structure autour de deux aspects du secteur de services dans sa globalité. D'une part, nous nous intéresserons aux acteurs qui

participent à la production des services et à leurs comportements. D'autre part, nous proposerons des scénarios, modélisés par de la simulation, pour l'aide à l'évaluation des services à deux niveaux de détail : micro (individus) et macro (territoire).

Le contenu de ce mémoire est organisé en quatre chapitres.

Le premier chapitre présentera de façon générale les différentes notions liées aux services et à leur économie. Par la suite et à travers ces notions, nous allons établir un ensemble de questionnements pour lesquels nous allons essayer de trouver des réponses à partir des travaux déjà effectués au sein de notre laboratoire. A l'issue de ce chapitre, nous formulerons des questionnements subsistants et qui feront l'objet d'un état de l'art élargi au second chapitre.

Dans le deuxième chapitre, nous focaliserons notre attention sur les caractéristiques des services, leur conceptualisation et leur évaluation. Ainsi nous allons présenter un état de l'art sur les différents outils utilisés pour la cartographie des processus liés au secteur des services, et les modèles qui permettent d'analyser le comportement dynamique des systèmes. Enfin, ce chapitre essaiera de répondre aux questions établies en fin du chapitre 1, les questions subsistantes faisant émerger une problématique de recherche qui fera l'objet de notre contribution principale.

Le troisième chapitre a pour objectif de présenter la contribution générale des travaux de cette thèse. Pour cela, nous proposerons une présentation des éléments essentiels d'une architecture qui vise à mettre en œuvre une modélisation du processus de production de service sur la base de processus métiers centrés consommateurs. L'architecture proposée est basée sur une modélisation multi-perspective et permet d'intégrer des processus à un système dynamique d'agents, afin d'assurer une coordination distribuée basée sur deux formalismes hétérogènes.

Le dernier chapitre présentera une application de l'architecture proposée dans le cadre d'un système de santé. Le but est de valider les travaux sur un cas d'étude concret et permettre de quantifier l'apport de la simulation à la prise de décision. Enfin, nous présentons les conclusions de notre travail et proposons quelques perspectives à court et à long terme.

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE ET ENJEUX DE RECHERCHE

Dans ce premier chapitre, nous allons d'abord présenter le contexte général de la thèse relatif aux services. Cette partie nous conduira à poser un certain nombre de questionnements scientifiques. Dans un deuxième temps, nous présenterons différents travaux effectués au sein de notre laboratoire qui peuvent permettre de répondre pour partie aux questionnements. Suite à ces présentations, nous reformulerons notre problématique de recherche.

1> LE SECTEUR DES SERVICES

1.1 Le secteur des services et son évolution

Selon l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE, 2018), le secteur des services ou « secteur tertiaire » recouvre un vaste champ d'activités qui va du commerce à l'administration, en passant par les transports, les activités financières et immobilières, les services aux entreprises et aux particuliers, l'éducation, la santé et l'action sociale. Le périmètre du secteur tertiaire est de fait défini par complémentarité avec les activités agricoles et industrielles (secteurs primaire et secondaire).

L'économie mondiale est de plus en plus considérée comme une économie de services. Cela s'explique principalement par l'importance croissante et la part qu'occupe le secteur des services dans l'économie de la plupart des pays. En fait, la croissance du secteur des services est considérée comme un indicateur permettant la mesure du progrès économique des pays, et justifiée par la demande accrue des services de consommation, intermédiaires et finaux. Dans ce contexte, l'évolution du secteur tertiaire est rapide et celui-ci connaît des changements révolutionnaires qui affectent considérablement le mode de vie de la population, d'où le rôle important qu'il joue dans le développement des pays.

L'économie française est principalement une économie de services : en 2015, le secteur tertiaire occupait 76,7 % de la population active, tandis que le secteur primaire (agriculture, pêche, etc.) n'en représentait plus que 2,8 % et le secteur secondaire (essentiellement l'industrie) 20,5 % (Wikipédia, 2015). La France assiste à une baisse continue du nombre d'actifs du secteur primaire depuis les années 1950 et à une désindustrialisation du pays depuis les années 1970. Singulièrement et symboliquement, l'ouverture du complexe Eurodisney était concomitante à la fermeture des usines Renault de Boulogne-Billancourt. Cette proximité de deux événements économiques importants montre bien la

transformation du pays : non pas qu'il entre dans une société de loisirs, mais bien que l'emploi se déplace des secteurs primaire et secondaire vers le secteur tertiaire (Robillard, 2016).

Les services se sont développés dans le secteur marchand, la construction, le commerce et les transports. On note une très forte progression des services aux entreprises (cabinets de recrutement, entreprises d'intérim, conseils juridiques, publicité, ...) et aux personnes dans le secteur des services administrés (éducation, administration, santé et action sociale notamment). Dans cette dernière catégorie, les secteurs de la santé et de l'éducation ont connu une évolution spectaculaire au cours des vingt dernières années.

1.2 La concurrence dans le secteur des services

La vive croissance des services dans certains pays de l'OCDE résulte d'une conjugaison de facteurs. Parmi les plus importants, figure l'intensification de la pression concurrentielle qui s'est produite ces dernières décennies et la facilitation de l'échange des données. En conséquence, les entreprises ont été davantage incitées à améliorer leur efficacité par un recours accru à des technologies de pointe ; notamment aux Technologies de l'Information et de la Communication (TIC). Cela a permis des innovations et des gains de productivité grâce à de nouveaux services, construits à partir des produits et des procédés novateurs tout au long de la chaîne de valeur. Dans les pays où ce processus est allé le plus loin, notamment l'Australie et les Etats-Unis, la stimulation consécutive à l'augmentation de productivité a suscité une baisse des prix et une hausse de la demande de services, mais aussi une forte création d'emplois pour certains services, notamment les services aux entreprises (OCDE, 2005).

D'autre part, la forte concurrence entre les entreprises a entraîné lors des dernières années une nouvelle approche appelée « servicisation » qui désigne le phénomène par lequel certains marchés passent d'une logique de fourniture pure d'un produit à une logique de prestation de services associée à ce produit. La servicisation est considérée comme un avantage concurrentiel pour de nombreuses industries désireuses de se différencier, notamment quand les produits sont en phase de maturité, voire de déclin. Cela permet de construire une offre attractive autour d'un design produit considéré comme stable, et d'accéder à des nouveaux segments de consommateurs. La transaction n'est plus uniquement marchande, elle devient relationnelle : le « front-office » de l'entreprise est davantage sollicité en vue d'une meilleure fidélisation des consommateurs (Szostak et Lenfant, 2015).

Le développement de la concurrence dans les secteurs de services est important du fait qu'il favorise la croissance et l'entrée d'entreprises qui se montrent particulièrement innovantes et efficaces pour répondre à la demande des consommateurs.

1.3 Les services publics

Selon l'INSEE, le service public se définit essentiellement comme une activité d'intérêt général qui se développe en lien avec une population donnée et qui est assurée :

- soit par des personnes morales de droit public directement ;
- soit par des particuliers, des entreprises privées ou d'autres personnes morales de droit privé sous le contrôle et éventuellement avec l'aide des pouvoirs publics.

Les services de base tels que la distribution d'eau, les soins et l'éducation sont considérés comme primordiaux à la survie de l'humanité et constituent donc un droit fondamental. La prestation efficace de ces services est cruciale pour la lutte contre la pauvreté. Les services publics sont soumis à trois principes juridiques, quelle que soit leur nature, à savoir le principe du fonctionnement équitable, le principe du fonctionnement efficace et le principe du fonctionnement continu (Bado, 2015).

Le principe du fonctionnement équitable a pour corollaire la règle d'égalité et la règle de neutralité. La première condamne toutes les discriminations fondées sur des considérations étrangères au service public : tous les usagers doivent être placés sur un pied d'égalité tant du point de vue des droits que du point de vue des devoirs. La seconde impose au service public l'impartialité au plan politique comme religieux.

Le principe du fonctionnement efficace commande à l'autorité administrative d'adapter le service à l'évolution juridique, technologique ainsi que des circonstances ou des besoins du public.

Le principe du fonctionnement continu fait obligation à l'autorité administrative de prendre toutes les mesures nécessaires au fonctionnement régulier du service public et d'en sauvegarder les moyens humains et matériels ; il impose aux agents publics l'obligation de rendre le service et de répondre personnellement de sa marche. Il en résulte que tout service public doit faire l'objet d'un contrôle permanent pour s'assurer de son bon fonctionnement.

Parmi les services publics, les services de santé occupent une place importante du fait qu'ils impliquent différents acteurs et infrastructures au service de la population. Plus en détails, les services de santé font partie des activités exercées directement par l'autorité publique ou par des opérateurs privés sous tutelle publique. A partir de ces éléments, nous avons choisi de focaliser notre étude sur les services publics de santé qui se trouvent continuellement face à plusieurs contraintes (temps, coût, satisfaction, etc.).

1.4 Le secteur de la santé

Le secteur de la santé a un poids économique important. Il représente en 2013 11,2 % du PIB en France et 16,2 % aux États-Unis (Zaidman et al., 2014). Comme n'importe quel autre secteur de l'économie, la santé apporte sa contribution à la production nationale et à l'emploi. En 2017, la consommation de soins et de biens médicaux représente 199,3 milliards d'euros. Cette consommation est le fait pour plus de 92,8 milliards d'euros de soins hospitaliers (public et privé) et de 106,5 milliards d'euros de soins ambulatoires. Selon l'INSEE (2018), le secteur de la santé employait en 2016 1,8 million de personnes. Il s'agit donc d'un secteur dont l'importance macroéconomique est certaine. À titre de comparaison, en 2016, l'agriculture ne regroupe plus que 754 000 personnes, l'énergie 3,6 millions et les transports 1,4 million. Le secteur de santé reste en développement rapide : la dépense de santé augmente plus vite que la production nationale (de l'ordre de 0,5 point par an depuis la fin des années 1980).

Les « services » de santé, englobent un ensemble d'activités dont l'objectif principal est d'assurer la bonne prise en charge des besoins de santé des citoyens d'un pays. Ces services ont un rôle très important dans la qualité de vie des citoyens. Ils constituent aussi un maillon important de l'économie nationale et régionale. Souvent, ces services sont l'un des secteurs économiques où la croissance est la plus rapide (Bailly etPériat, 2003).

Afin de répondre aux besoins de la population, la loi HPST a décrit les missions de service public auxquels les établissements de santé peuvent ou doivent participer (article L6112-1 du code de la santé publique dans sa version consolidée au 7 novembre 2018). D'autre part, Les acteurs de la santé publique ont continuellement de nombreux défis à relever, ces défis sont relatifs à des besoins nouveaux liés, entre autres, au vieillissement de la population et à l'augmentation du nombre de maladies chroniques. Ces besoins et leurs coûts obligent à repenser la prise en charge des patients, à rationaliser leurs parcours de soins afin de les rendre plus efficaces et à mettre en place des stratégies d'évaluation du système.

1.5 L'évaluation

Comme toute activité, les services publics ont besoin d'être évalués dans une optique de justification des investissements et d'amélioration. En revanche, cette évaluation n'est pas facilement formalisable du fait de l'interaction de plusieurs facteurs (offre/demande, territoire, économie). Dans cette partie, nous présenterons les concepts d'évaluation et, plus particulièrement, les éléments d'évaluation des services publics de santé.

Selon le dictionnaire "*Le Grand Robert*" (2001), évaluer signifie « *porter un jugement sur une donnée par référence à une valeur* ». L'évaluation consiste

donc à comparer une situation à un idéal. Il ne peut pas y avoir de jugement sans norme ni système de valeurs. « *La question des valeurs et de leur échelle est fréquemment occultée lorsqu'il est question de performance* » (Bourguignon, 1997).

(Bessire, 1999) distingue trois dimensions liées à l'évaluation :

- Une dimension politique qui exprime le « pourquoi », les intentions de ceux pour qui est réalisée l'évaluation (dimension subjective).
- Une dimension stratégique qui indique le « comment », la traduction du déploiement des intentions dans l'espace et dans le temps (dimension rationnelle).
- Une dimension de gestion et d'économie qui s'exprime en termes de ressources consommées, d'objectifs, et de progression vers ces engagements (dimension objective). L'évaluation de la satisfaction des usagers des services publics permet de s'assurer que l'organisation publique agit bien dans le sens souhaité.

La stratégie d'évaluation des services publics apparaît avec le souhait d'une « *nouvelle gestion publique* » tourné vers la demande dans un contexte de crise de légitimité du management des services publics et de développement d'outils de suivis des performances (Ragainne, 2010). D'après Chevallier (2004), ce recentrage, faisant de l'utilisateur un acteur autorisé à participer au fonctionnement des services publics, s'inscrit dans le cadre d'un phénomène de réalisation de la relation au service public marqué par des usagers aux exigences accrues: « L'utilisateur ne serait en fin de compte lui aussi qu'un « consommateur », qui attend de l'administration qu'elle satisfasse le mieux possible ses aspirations. Dans cette perspective, les services administratifs sont tenus d'ajuster les prestations offertes en fonction de l'état de la demande, ce qui implique d'étudier méthodiquement « *les besoins et attentes du public, de mener une politique offensive et volontariste dans sa direction, enfin d'améliorer la question de la performance* ».

L'évaluation sert la décision, éclaire les choix et limite l'arbitraire. Des décisions, la plupart des acteurs du système de santé doivent en prendre régulièrement, à commencer par les responsables politiques du secteur. L'évaluation a ainsi peu à peu pénétré tous les domaines de la santé. Qu'il s'agisse de compétences, de pratiques, de produits (médicaments ou dispositifs) ou de stratégies préventives ou curatives, l'évaluation s'inscrit depuis longtemps dans une logique prédictive, formative ou sommative comme une composante essentielle des démarches médicales et sociales (Detournay, 2014).

En France, l'évaluation des actions établies dans l'intérêt de la santé des populations est chose récente (Le Bouler, 2007). En ce qui concerne le niveau microéconomique, la Cour des Comptes s'y emploie chaque année, pour élaborer

des rapports sur le financement de la sécurité sociale. Des exercices à vocation évaluative ont ponctué les grandes étapes de la constitution du système ou de sa réforme : rapport Santé 2010 du Commissariat Général du Plan au début des années 1990, exercices homologues sur le système hospitalier ou la médecine de ville, etc. Le Haut Conseil pour l'Avenir de l'Assurance Maladie (HCAAM) a en quelque sorte institutionnalisé cette démarche mi-évaluative, mi-prospective à la faveur de la préparation de la réforme de 2004. Un système d'information statistique a en outre été bâti au fil des années. Le Parlement a lui-même développé des instances : Office Parlementaire d'Evaluation des Politiques de Santé et Mission d'Evaluation et de Contrôle des Lois de Financement de la Sécurité Sociale notamment, pour ce qui est de l'Assemblée nationale.

Au niveau macroéconomique (territorial), l'évaluation du service public de soins peut se concevoir selon quatre axes relativement indépendants : l'organisation et la gestion de l'offre (qui renvoient à la rationalisation des moyens), la gestion des ressources humaines (qui renvoie à la localisation géographique des fournisseurs du service public), l'évolution de la demande sur les territoires (fondée en grande partie sur les projections démographiques et épidémiologiques) et, enfin, la santé en tant qu'acteur du développement local. Les évaluations conduites au titre de ces différentes entrées sont évidemment toutes différentes. Certaines sont particulièrement sévères, notamment en ce qui concerne la répartition territoriale des soignants.

Dans le même contexte, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a illustré deux catégories de mesures d'évaluation liées à la performance du système de santé :

- Des mesures simples qui donnent une évaluation partielle de l'état de santé mais qui présentent l'avantage d'être établies et utilisées par la plupart des pays, ces mesures sont habituellement retenues pour évaluer la performance sanitaire, elles sont représentées par des statistiques relatives aux événements de la vie : mortalité (générale, infantile, périnatale, maternelle...), espérance de vie (à la naissance, à 65 ans, sans incapacité, années de vie perdues ...), mortalité par cause (maladies cardiaques, cancers, accidents de la route, suicides) et mortalité évitable.
- Des mesures fonctionnelles ou subjectives qui appréhendent la perception par les individus de leur santé, de leur qualité de vie, mais qui sont difficiles à généraliser en raison de l'information qu'elles nécessitent.

1.6 Questionnements scientifiques

L'ensemble des points qui viennent d'être développés conduit à un ensemble de problématiques de recherche présenté maintenant sous forme de questionnements scientifiques.

Positionnement du domaine

Que l'on parle de services en général, de services publics de façon plus particulière, voire de santé si l'on précise encore plus, il s'avère que ce concept couvre différents aspects. La notion de service dans le langage naturel est polymorphe et polysémique, cela entraîne une difficulté pour définir le périmètre étudié, la nature du service rendu et le modèle du processus de production de services correspondant.

- *Q1.1 : Comment définir un cadre global précisant le périmètre du service étudié, à savoir le service de santé ?*

Conceptualisation des services

La difficulté pour définir la notion de service entraîne a fortiori une difficulté pour leur conceptualisation. La nature polymorphe du service, déjà soulignée plus haut, ainsi que la grande variété de natures et d'activités couverte par ce terme rend extrêmement difficile la conceptualisation même du service ainsi que celle de son processus de production. Pourtant, il est nécessaire de développer un modèle général des services afin que les travaux de recherche les concernant soient le plus généralisables possible.

- *Q1.2 : Comment définir un modèle général des services, suffisamment générique pour être applicable au maximum de cas et situations rencontrés ?*

Indépendance des acteurs et des comportements

Les systèmes de production de soin sont complexes parce qu'ils se composent de plusieurs niveaux de sous-systèmes et de processus interdépendants, qui s'adaptent aux changements de l'environnement et se comportent de manière indépendante. Dans ce cadre, les méthodes de modélisation à mettre en œuvre doivent prendre en charge les comportements indépendants sans négliger l'impact des interactions entre les acteurs.

- *Q1.3 : Comment modéliser le comportement local des acteurs indépendants tout en prenant en compte leurs interactions et donc les influences mutuelles entre comportements ?*

Logique globale

La notion de parcours de soin permet d'insister sur le fait que l'ensemble des actions subies par le patient doivent être foncièrement cohérentes, en termes de complémentarité, de coordination, de synchronisation, etc. Aussi, les

comportements autonomes des acteurs indépendants (voir ci-dessus) doivent, malgré tout, s'inscrire dans une logique globale.

- *Q1.4 : Comment modéliser une logique globale d'intervention (un parcours de soin pour ce qui concerne la santé), en intégrant tous les concepts nécessaires à sa bonne compréhension (synchronisation par exemple) tout en tenant compte du fait que les acteurs présentent des comportements indépendants ?*

Dynamique

De par le nombre de comportements locaux qui se déroulent en parallèle, une modélisation statique ne suffit pas pour constater l'impact de ceux-ci sur l'ensemble du système. L'émergence résultante ne peut être mise en évidence que par la simulation dans le temps du système dans sa totalité. Aussi, des modèles statiques (comportements locaux, parcours de soin) doivent cohabiter avec des modèles dynamiques.

- *Q1.5 : Comment simuler l'ensemble du système en s'appuyant sur les modèles statiques des comportements des acteurs et de la logique globale ?*

Performance individuelle et performance globale

L'évaluation, et donc la performance, sont des notions prégnantes dans le secteur de la santé (voir ci-dessus). En tant que service public, cette évaluation s'oriente naturellement sur une évaluation du système dans sa globalité. Malgré tout, il peut être intéressant d'aborder la performance du point de vue de l'individu. Dans le secteur de la santé, cela concerne les patients et le personnel médical. La simulation, telle qu'abordé dans le point précédent, peut aider à évaluer cette performance individuelle.

- *Q1.6 : Comment utiliser la simulation pour évaluer la performance du système de santé du point de vue individuel ? Dans, ce cas, les performances à mesurer sont-elles différentes de celles suivies pour l'ensemble du système ? Si oui, quelles sont-elles ?*

Nous considérons que la suite des travaux présentés dans ce mémoire doit permettre de répondre à ces questionnements scientifiques. Pour ce faire, nous allons dans un premier temps nous intéresser à des travaux de recherche menés préalablement au sein de notre laboratoire et qui ont abordé, dans des mesures différentes, les points précédemment cités. La présentation de ces travaux nous permettra d'évaluer dans quelle mesure ceux-ci répondent aux questionnements scientifiques posés.

2>

CARACTERISATION ET MODELISATION DES SERVICES (Touzi, 2011)

Dans sa thèse, W. Touzi s'est intéressé à la notion de service dans sa compréhension la plus générique et a fourni un cadre conceptuel d'analyse des services.

2.1 Caractérisation des services

Pendant les années 1980, la définition d'un service a été largement discutée, ce mot qui étymologiquement vient du Latin « servus-i » signifiant l'esclave (Vogler, 2004), n'a pas de définition unifiée dans la littérature. Après plus de 35 ans de recherches dédiées spécifiquement au secteur des services, les spécialistes ne s'entendent toujours pas sur une définition unique et commune à la notion de service, même si la majorité des définitions reprennent des idées communes (Sempels, 2005). Cela peut partiellement s'expliquer par la grande diversité des domaines d'activités de services. D'une manière générale, il existe aujourd'hui trois aspects principaux à travers lesquels on peut définir le concept de service tel qu'il est utilisé.

2.1.1 Le service par opposition aux biens

Les premiers travaux sur les services ont eu pour principale conséquence de les définir en opposition aux biens. Judd (1964) soulignait la dichotomie fondamentale entre un bien et un service. Selon lui, un service est une transaction réalisée par une entreprise où l'objet de l'échange est autre que le transfert de propriété (et de titre le cas échéant) d'un bien tangible. Lovelock dans son ouvrage sur le marketing des services liste sept différences entre biens (marchandises) et services (Lovelock et Gummesson, 2004) :

- La nature de la production (les services sont des prestations intangibles pas des objets) ;
- La grande implication des consommateurs dans le processus de production (les consommateurs sont souvent acteurs dans le processus) ;
- La part d'humain dans la production (d'autres personnes consommatrices peuvent faire partie du processus) ;
- Les grandes difficultés à maintenir des standards de contrôle de qualité : plus de variabilité dans les intrants et extrants opérationnels (plus difficile à standardiser et de contrôler la qualité) ;
- L'absence d'inventaire après production ;

- L'importance du facteur temps (la rapidité peut être un facteur important, voire l'élément clé du succès) ;
- La structure des canaux de distribution (les systèmes de distribution sont physiques et électroniques).

2.1.2 Le service en tant qu'activité

Dans la littérature, le service est traditionnellement défini en tant qu'activité. Selon Judd (1964) les services sont essentiellement définis et présentés à travers une liste d'activités. Adam Smith définit, un peu plus tard, le service comme étant « *toute activité qui ne conduit pas à un produit tangible* » (Smith, 1976). Des années plus tard, une définition plus développée a été proposée par Grönroos (2006). Selon lui, les services peuvent être définis comme des processus qui consistent en un ensemble d'activités entre un consommateur et des personnes, des biens et d'autres ressources physiques, des systèmes et/ou des infrastructures représentant des fournisseurs, ces derniers visent à aider le consommateur à résoudre ses problèmes en l'assistant par exemple à accomplir ses tâches quotidiennes.

2.1.3 Le service pour la création de valeur

Dans son ouvrage de référence *La Richesse des Nations*, Adam Smith (1776) écrit, quand il évoque pour la première fois la notion de valeur : « *Il s'agit maintenant d'examiner quelles sont les règles que les hommes observent naturellement, en échangeant les marchandises l'une contre l'autre, ou contre de l'argent. Ces règles déterminent ce qu'on peut appeler la valeur relative, ou échangeable des marchandises* ». Selon Gummesson (1995), les consommateurs n'achètent pas des biens ou des services, mais plutôt ils achètent des offres qui rendent des services créateurs de valeur.

Smith (1991) déduit par la suite que le mot valeur a deux significations différentes « *quelquefois il signifie l'utilité d'un objet particulier, et quelquefois il signifie la faculté que donne la possession de cet objet d'acheter d'autres marchandises* ». Dans ce contexte, deux conceptions de la valeur sont présentées dans la littérature, la valeur d'usage et la valeur d'échange :

- **Valeur d'usage** : qualité attribuée par un individu à un objet, qui rend celui-ci apte à satisfaire un besoin. La valeur d'usage varie donc selon l'importance du besoin et se manifeste dans la consommation.
- **Valeur d'échange** : le prix résultant des estimations d'un consommateur et d'un fournisseur sur un marché donné.

Le mot valeur a souvent été employé pour désigner non seulement le prix d'échange d'un article, ou sa faculté d'être échangé contre d'autres objets, mais

également pour son utilité ou la propriété qu'il possède pour répondre à un besoin lié au service.

2.2 Modélisation des services

Le service peut être considéré à la fois comme le potentiel à rendre un service, c'est-à-dire la capacité d'un objet quelconque à rendre un service, l'activité qui permet de rendre ce service et le résultat de cette même activité. Ces notions existent toutes mais se focalisent et attirent à elles le terme de service différemment en fonction de l'auteur ou, plus généralement, de la compréhension naturelle de chacun. La complexité de trouver une définition générale de la notion en elle-même a poussé Touzi (2011) à proposer un modèle conceptuel général du service qui embrasse l'essentiel de ses différents aspects qui peut s'articuler autour de trois niveaux.

2.2.1 Niveau 1

W. Touzi considère que le service ne peut pas être dissocié du bien. Ainsi, il aborde la notion de service par le biais des artefacts ; du fait que ces derniers sont considérés comme porteurs de services, d'où la nécessité de leur existence pour la production d'un service.

Un artefact est considéré comme un produit ayant subi une transformation, même minime, par l'homme, et qui se distingue ainsi d'un autre issu d'un phénomène naturel. De part sa nature artificielle, un artefact possède une capacité à rendre un service. Or, si cette capacité possède un intérêt, c'est parce que d'autres objets désirent ou nécessitent de consommer ce service. La compréhension effective de la notion de service ne peut être envisagée que dans le cadre d'un couple « Fournisseur de service (F), Consommateur de service (C) ». Selon l'approche proposée par l'auteur, le service relève d'une interaction ou d'un échange à l'intérieur de ce couple. Plus précisément, cette interaction est orientée du fournisseur vers le consommateur.

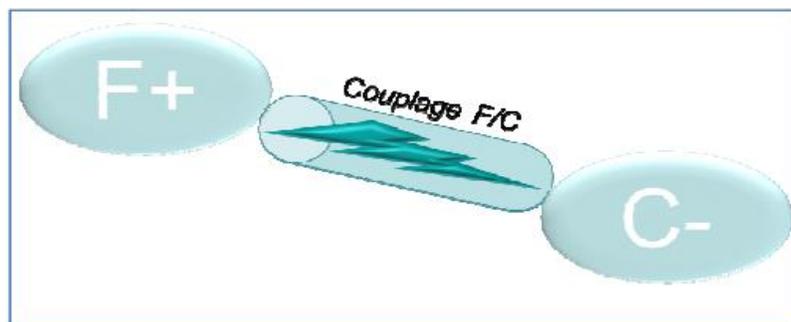


Figure 1. Représentation d'un service (Touzi, 2011)

Les deux objets consommateur et fournisseur sont caractérisés par une différence de potentiel et de flux ainsi cette différence conduit à un échange de

service. D'autre part, il est considéré que le fournisseur (signe +) se situe à un niveau de potentiel supérieur à celui du consommateur (signe -). Il est même possible de considérer que la valeur du service rendu croît dans le même sens que la différence de potentiel est un paramètre caractéristique du couple, c'est à-dire qui caractériserait le couplage entre fournisseur et consommateur (Figure 1).

Une autre illustration élaborée par l'auteur consiste à considérer que le potentiel de service d'un fournisseur est positif et qualifié de fonction (F), alors que celui d'un consommateur est négatif dans l'absolu et qualifié de besoin (B), c'est-à-dire indépendamment de toute comparaison et donc de tout couple (fournisseur, consommateur).

Dans le modèle proposé dans sa thèse, Touzi a pris en considération l'approche multi-services, du fait qu'un objet peut être fournisseur ou consommateur d'un ensemble de services de natures différentes, d'où l'aspect vectoriel du service. Une représentation de cet aspect est illustrée dans la Figure 2 qui illustre un fournisseur et un consommateur de services multiples dans le cas où trois natures de services sont identifiées (1, 2 et 3).

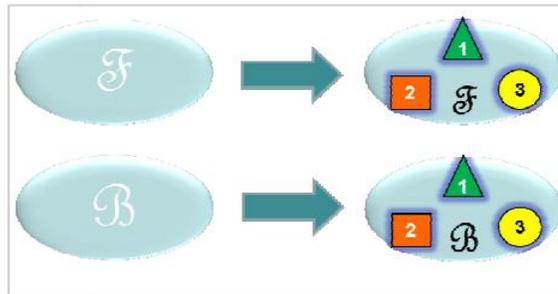


Figure 2. Version vectorielle dans le cas d'une approche multi-services (Touzi, 2011)

Dans le cadre d'une approche multi-services, l'auteur s'est retrouvé face à une complexité au niveau des relations entre les différents objets, Il ressort qu'un objet hybride (à la fois fournisseur et consommateur) s'inscrit dans un enchaînement de fournitures de services, lié à d'autres objets amont en tant que consommateur de service et à des objets aval en tant que fournisseur de service.

2.2.2 Niveau 2

Le niveau 1 consiste à présenter le service comme une interaction entre un producteur et un consommateur. Ce niveau est le plus élémentaire et ne permet donc pas de prendre en compte des activités périphériques de mise en œuvre puis d'arrêt. D'autre part, Un service n'est pas instantanément rendu, le couplage entre les deux objets doit d'abord être établi. Il faut donc envisager le processus qui conduit le service à être rendu. D'où l'utilisation de la notion de production de service ou de servuction. Dans ce cas, le principe de base est qu'il faut d'abord

établir le couplage entre les deux objets, ce qui entraîne le service. Ce service sera rendu tant que le couplage existera. Le fait de supprimer ce dernier entraîne l'arrêt du service et chaque objet retrouve sa liberté.

Le niveau 2 permet la représentation complète d'un service élémentaire en proposant un modèle générique d'un processus de servuction. La Figure 3 illustre le processus de servuction dans sa globalité, ce processus possède la production de service en son centre (l'interaction) mais également les deux phases qui l'encadrent :

- Phase « *pré-processus* » : contient les éléments d'initialisation qui s'appuient sur les caractéristiques relatives au couplage et les informations sur le besoin de service. Dans le cas d'un service non standard, une étape de personnalisation du service est nécessaire (dans le cadre de la contextualisation). Cette étape correspond à une action volontaire d'adaptation du processus de servuction au contexte général (consommateur, conditions, environnements, etc.).
- Phase « *post-processus* » : représente un processus analogue à celui de préparation (pré-processus) mais qui se déroule après la servuction. La phase clôture se présente comme la phase symétrique de la phase initialisation. L'équivalent de la contextualisation est l'étape de décontextualisation, celle-ci permettant au fournisseur et au consommateur de se retirer de la situation spécifique dans laquelle ils sont impliqués.

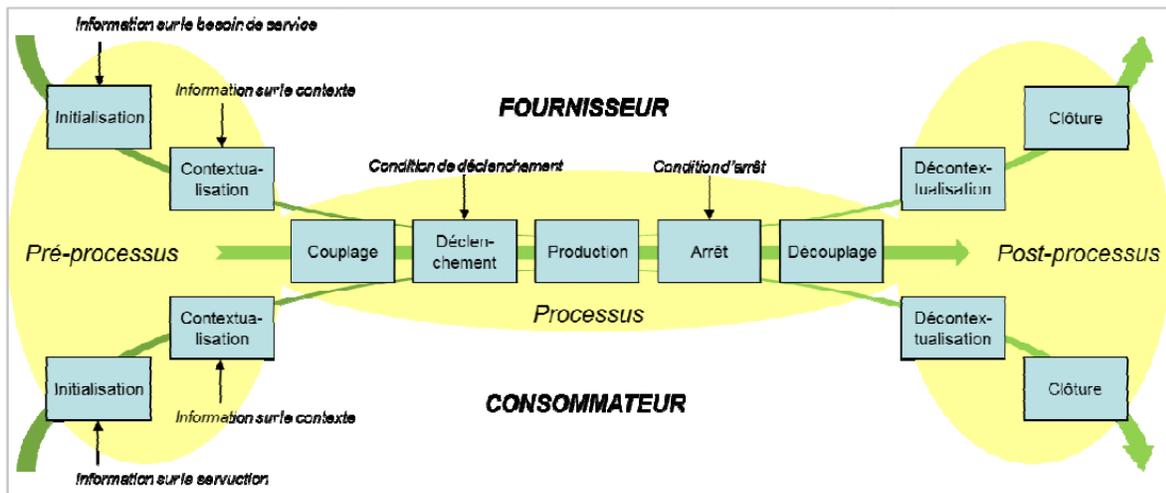


Figure 3. Représentation du processus de servuction (Touzi, 2011)

Même s'il est clair que l'interaction entre le fournisseur et le consommateur de service est au cœur du processus de servuction, il n'en demeure pas moins que, dans les cas un peu plus complexes, les deux acteurs puissent être amenés à répondre à une logique de déclenchement imposée. Dans ce sens, trois

modes de déclenchement possible du service en fonction des origines de l'information sont proposés :

- Le premier cas correspond à la situation où le consommateur est à l'origine du processus. Dans ce cas, les informations à destination du fournisseur sont émises par le consommateur, et le service est qualifié de service tiré.
- Le deuxième cas représente une opposition au premier du fait que le service résulte de l'initiative du fournisseur. Dans ce cas, les informations reçues par le consommateur sont produites par le fournisseur et le service est poussé.
- Un troisième cas est proposé dans le cadre où ni le fournisseur ni le consommateur ne sont à l'origine du service mais où ce dernier est le résultat de l'initiative d'un acteur tiers. Dans ce cas, l'ensemble des informations est émis par cet acteur tiers à destination du fournisseur et du consommateur. Le service est appelé service piloté et l'acteur tiers pilote (Figure 4).

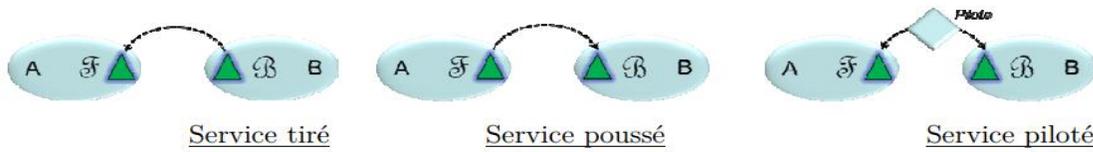


Figure 4. Modes de déclenchement du services (Touzi, 2011)

2.2.3 Niveau 3

Ce niveau traite la complexité qui découle de services composites, c'est-à-dire « *des compositions de plusieurs services existants afin d'obtenir un service plus complexe qui peut répondre aux besoins de l'utilisateur* » (Do Manh, 2005). Ces services sont générés grâce à des dynamiques complexes de mises en œuvre de services élémentaires. Afin de représenter toutes les situations liées à la complexité de la dynamique et de la composition de service, une représentation modélisable par un ensemble d'états est proposée. A un état, correspond un ensemble de services actifs, c'est-à-dire que le processus de servuction d'un ou de plusieurs services se déroule dans le cadre de cet état. L'enchaînement d'état signifie qu'au moins un processus de servuction démarre ou s'arrête, ainsi il est possible qu'un processus de servuction se déroule lors de plusieurs états successifs. Dans le but de cartographier les services, l'auteur a opté pour un graphe de type étape-transition, plus précisément le Grafcet (*GRAPhe Fonctionnel de Commande des Etapes et Transitions*). La Figure 5 illustre un exemple de Grafcet représentant le service global de consultation médicale, ce modèle permet de comprendre l'enchaînement et l'orchestration des différents

services à savoir les services de prise de rendez-vous, accueil du patient, examen médical et examens complémentaires.

Dans ce contexte, Touzi propose des adaptations de l'usage classique du Grafcet, en remplaçant les actions par les services identifiés lors des phases précédentes. La règle générale proposée est la suivante : une étape correspond à un ensemble de services actifs. L'étape change à chaque fois qu'un service est activé ou désactivé. De plus, l'étape initiale du Grafcet a été utilisée différemment : elle correspond à l'état du système avant que tout service ait commencé à être rendu (phase antérieure à l'ensemble du processus décrit) ou après que tous les services ont été rendus (phase postérieure au processus). Enfin, des étapes d'attentes (notées ATT) ont été utilisées à chaque fois qu'il n'y a pas d'enchaînement instantané.

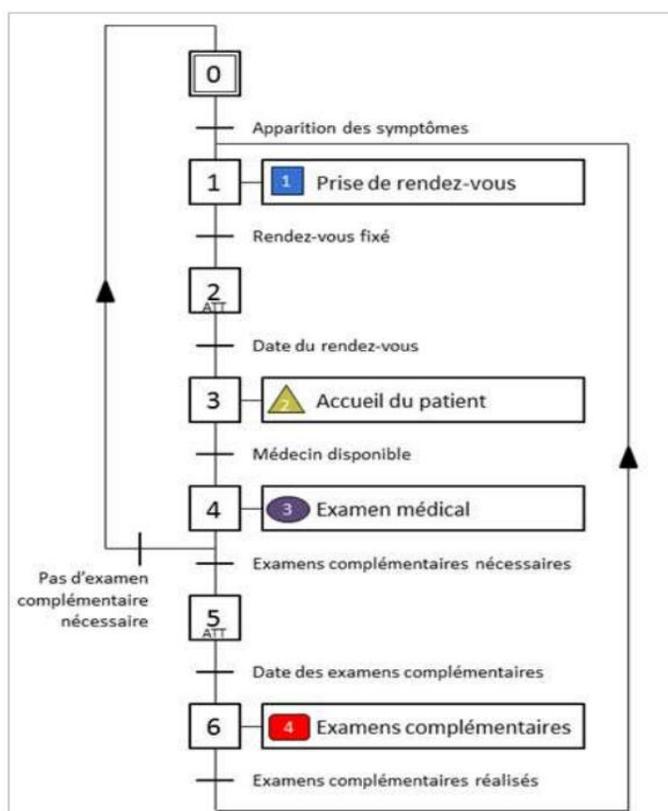


Figure 5. Grafcet d'un exemple de service de santé (Touzi, 2011)

2.3 Démarche de conceptualisation du service

Touzi propose une démarche méthodologique pour l'élaboration d'un modèle conceptuel générale du service structurée en cinq phases.

2.3.1 Phase 1 : Identification des objets

La première phase consiste à identifier les objets intervenant dans le cadre du service. Il s'agit de recenser l'ensemble des objets actifs et significatifs dans

le cadre du cas étudié. Les objets supposés annexes ou non significatifs seront laissés de côté. Il n'existe pas de critère objectif qui gouverne ce choix. Comme déjà précisé, tout objet est défini comme fournisseur ou consommateur d'un ensemble de services.

2.3.2 Phase 2 : Identification des fonctions et des besoins

Cette phase permet de lister les fonctions et les besoins de chaque objet défini lors de l'étape précédente. En général, les fonctions de l'objet sont exprimées dans le cadre de ses spécifications telles qu'elles sont représentées et mises en avant par les outils d'analyse fonctionnelle, c'est-à-dire tel qu'elles sont envisagées d'être remplies. Toutefois, il est important de bien comprendre qu'il n'y a pas de véritable différence entre besoin, envie, utilité, etc. dans le cadre du modèle proposé. Il est donc important de couvrir toutes ces notions à ce niveau.

2.3.3 Phase 3 : Identification et cartographie des interactions

Cette phase permet d'identifier l'ensemble des liens fonction / besoin pour chaque couple d'objets. Cet ensemble est représenté globalement par une démarche de cartographie. Les flèches indiquent le sens et la nature de l'interaction entre le fournisseur et le consommateur du service : la flèche est orientée de la fonction vers le besoin. Les objets ne possédant que des fonctions sont à la frontière amont du modèle, ceux qui n'ont que des besoins sont à la frontière aval.

2.3.4 Phase 4 : Etablissement des scénarios des services

Dans cette phase, les services cartographiés dans la phase précédente sont représentés dans leur dynamique d'activation. Pour cela, l'auteur préconise l'utilisation du Grafcet comme présenté plus haut.

2.3.5 Phase 5 : Description des processus de servuction

Cette dernière phase a comme objectif de décrire la dynamique interne des services (pré-processus, processus et post-processus). Si cette dynamique est linéaire, elle est simplement représentée en remplissant une fiche de description de service. Si la dynamique est plus complexe, il faudra également utiliser le Grafcet.

3> MODELISATION DES PARCOURS DE SOINS (Benabdejlil, 2016)

Dans le cadre de ses projets de réforme et d'innovation, le secteur de santé met en avant la notion de parcours de soin qui permet de définir les différentes tâches et activités qu'un demandeur du service (le patient en l'occurrence) doit

suivre et subir. C'est dans ce contexte que se positionnent les travaux de thèse d'H. Benabdeljil. Ces travaux ont permis une analyse approfondie de l'évolution du système de santé dans un premier temps, puis l'élaboration d'une démarche de modélisation des parcours de soins et finalement une proposition d'une liste de services à valeur ajoutée basée sur les parcours de soins. C'est la partie concernant la modélisation des parcours de soins qui nous intéresse le plus et que nous présentons maintenant.

3.1 Parcours de soins

Le terme parcours est utilisé pour décrire le processus de prise en charge du patient par les acteurs du système de santé. La mission première des organisateurs de ce système est de proposer aux acteurs impliqués des moyens de collaborer efficacement et de façon efficiente pour une prise en charge globale (à la fois soignante et sociale) des patients et de leurs proches, dans une approche centrée patient et non plus uniquement soin. La tendance est au « *patient empowerment* » qui positionne le patient au cœur du processus de production de soin, lui demandant de s'impliquer dans son parcours et impliquant aussi son entourage.

Selon les Agences Régionales de Santé (ARS), trois catégories de parcours sont identifiées (Figure 6) :

- **Les parcours de soins** sont la réponse aux besoins sanitaires. Ils intègrent donc les soins ambulatoires et hospitaliers (soins de premiers recours et hospitalisation, hospitalisation à domicile, soins de suite et de réadaptation, unités de soins de longue durée ...).
- **Les parcours de santé** sont la réponse aux besoins de prévention, médico-sociaux et sociaux. Ils intègrent donc les parcours de soins en les articulant avec d'une part les actions de prévention et d'autre part l'accompagnement médico-social et social et le retour à domicile des personnes (établissements médico-sociaux, structures d'hébergement temporaire et de répit, services à domicile ...).
- **Les parcours de vie** sont la réponse aux besoins de la personne dans son environnement. Ils intègrent donc les facteurs éducatifs, environnementaux de réinsertion professionnelle, un éventuel contexte juridique, l'entourage familial, etc.



Figure 6. Les différentes notions de parcours (ARS, 2013)

En général, le parcours de soins décrit les éléments du processus de prise en charge de la maladie du patient par les acteurs du réseau de soins. Il correspond donc à une trajectoire composée d'étapes variant, d'une part, selon le lieu d'habitation et l'histoire médicale du patient et, d'autre part, selon les acteurs du réseau qui peuvent et doivent interagir. Le parcours de soins du patient démarre dès l'intégration du patient dans un groupe homogène relatif à une maladie donnée. Une visibilité complète de l'articulation des étapes du parcours de soins permet aux acteurs du parcours et au patient de se repérer dans celui-ci. Les procédures écrites associées à ce parcours détaillent les interventions (qui, quand, où, quoi, comment), les documents et les protocoles de référence qui y sont associés. Dans chacune des séquences du parcours de soins, les professionnels de santé peuvent anticiper l'ensemble des actions à planifier pendant toute la durée de la séquence.

En se basant sur cette définition ainsi que sur les définitions proposées dans la littérature, Benabdejlil a proposé une définition générale qui prend en considération les différents aspects du parcours de soin : « *un parcours de soins est un processus complexe centré patient qui est constitué d'un enchaînement idéal d'étapes et de tâches considérées comme essentielles relativement à un problème clinique spécifique. Il possède des objectifs explicites et correspond à une évolution clinique attendue. Son point de départ et son point d'arrivée correspondent généralement au début et à la fin de la prise en charge du patient. Finalement, il correspond à la trajectoire globale du patient* ».

Le concept de parcours de soin fait émerger deux aspects différents à savoir : le parcours type et le parcours personnalisé. Un parcours type est construit sur la base des bonnes pratiques et a priori, sans connaître les personnes qui le suivront. Le parcours personnalisé est une déclinaison du précédent pour un cas donné, c'est-à-dire prenant en compte les spécificités de ce cas. Bien que le parcours type est lié à une maladie unique (par définition), le parcours

personnalisé peut être quant à lui rattaché à plusieurs maladies (cas de multi-pathologies) et, donc, à plusieurs parcours types.

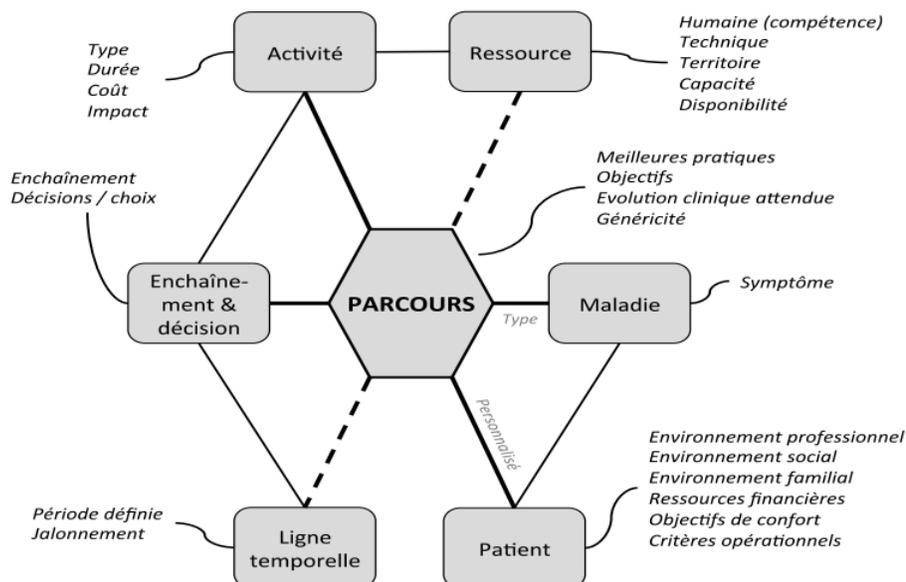


Figure 7. Concepts sous-tendant la notion de parcours (Benabdejlil et al., 2014)

Dans les travaux de Benabdejlil, un parcours de soin s'appuie sur les éléments suivants (Figure 7) :

- **La maladie** : représentée par une affection des fonctions ou de la santé d'un être humain.
- **Le patient** : la personne atteinte d'une maladie et donc qui subit un parcours de soins.
- **L'activité** : un parcours est constitué d'un ensemble d'étapes et d'activités, les principales sont celles qui présentent une valeur ajoutée en termes de soins : les actes médicaux.
- **La ressource** : chaque activité du parcours mobilise des ressources spécifiques, ces dernières peuvent être humaines ou techniques et sont caractérisées par leurs capacités et leurs disponibilités.
- **L'enchaînement et décisions rattachées** : le parcours est caractérisé par l'enchaînement ordonné et logique des activités, cet enchaînement ne peut pas être linéaire du fait que beaucoup d'activités ou de séquences sont définies en cours de déroulement du processus, compte-tenu des résultats et des évolutions de l'état de santé du patient. Aussi, beaucoup de décisions sont prises durant le processus, ces décisions définissent la plupart du temps le résultat d'actes médicaux de type diagnostique ou analyse.

- **La ligne temporelle** : les éléments temporels concernent la durée nominale des activités et éventuellement de quelques données d'interactivité (temps maximal entre deux activités, temps minimal de traitement avant d'évaluer son effet, etc.).

3.2 Modélisation des parcours de soins

Afin d'assurer le développement des actions de communication, de coordination et d'échanges d'informations entre tous les acteurs d'un parcours de soins, d'assurer une meilleure coordination des interventions professionnelles et une planification des actions des personnels et finalement garantir une meilleure intégration de différentes dimensions à savoir, la réduction des risques et des coûts, l'amélioration de la qualité des soins, la satisfaction du patient et l'efficacité dans l'utilisation des ressources, l'auteur a proposé une démarche de modélisation des parcours de soin. Cette démarche est justifiée par les motivations suivantes.

1) *Comprendre*

La compréhension des parcours de soin est primordiale pour pouvoir leur appliquer des adaptations et des transformations. Les sources d'information concernant les processus de soins (Haute Autorité de Santé (HAS) ou autres) sont exprimés suivant des modes divers et dépendant à la fois de la source et des auteurs.

2) *Manipuler*

En plus d'être hétérogènes, les modes d'expression des sources d'information sont informels. Aussi, le fait de modéliser les processus permet d'augmenter le niveau de formalisation. Cette augmentation de formalisation permet aux processus de soins d'être rationnellement manipulables.

3) *Enrichir*

Les sources ne traduisent que les connaissances médicales relatives au processus de soins. Aussi, afin de modéliser l'ensemble des dimensions opérationnelles des processus, la modélisation de ces derniers constitue une occasion d'enrichir les connaissances médicales par :

- Des éléments relatifs à la logistique (déplacement / transport, prise de rendez-vous, etc.),
- Des éléments relatifs à l'administration des soins (procédure de communication entre acteurs, etc.).

4) *Evaluer*

La modélisation des processus de soins permet d'obtenir des modèles suffisamment formels et quantitativement renseignés pour évaluer la dynamique du processus. Cette évaluation peut s'appuyer sur une simulation des processus.

5) Vérifier

Les modèles peuvent être exprimés de telle manière à ce qu'ils soient vérifiables relativement à un ensemble de règles. Ces règles peuvent être formalisées par ailleurs en intégrant des contraintes, obligations ou bonnes pratiques en rapport avec tous les points de vue.

6) Définir les ressources

Les sources ne permettent de définir les ressources nécessaires que très sommairement. Les modèles permettent la définition des ressources à mobiliser qui relèvent en premier lieu des compétences médicales mais les points de vue logistique et administratif doivent également être pris en compte.

7) Définir le rôle du patient

Compte-tenu de sa position centrale dans les processus, les modèles de processus permettent de définir le rôle du patient ou, plus généralement, sa place par rapport au déroulement du processus. Notamment, ils doivent permettre de définir les différentes situations lors desquelles le patient peut être passif, actif (prise en charge d'un acte médical en autonomie) ou en mode collaboratif avec, notamment, son médecin traitant.

8) Définir les situations de coopération entre acteurs

Les modèles de processus permettent de définir le positionnement de chaque acteur dans le processus et des situations spécifiques par rapport à ceux-ci. Ils doivent permettre d'identifier les différentes situations possibles entre l'activité et les acteurs.

9) Définir les latitudes décisionnelles

La représentation des activités telle qu'elle est proposée par les sources d'information (HAS, ARS, etc..) ne permet pas de faire la différence entre situations complètement contraintes et les cas où une latitude décisionnelle existe. Les modèles doivent permettre de caractériser cette latitude décisionnelle lorsqu'elle existe. Cela permettra de savoir dans quelle mesure les acteurs impliqués dans cette activité ont une possibilité de choix. Le patient fait partie de ces acteurs. Cette connaissance permet de proposer des outils d'aide à la décision et de définir les données et plus généralement les services nécessaires.

(GEA modifié). La Figure 8 représente le méta-modèle simplifié de GEA modifié dans le cas d'un parcours type présentant les différentes classes ainsi que les attributs nécessaires pour la modélisation.

Le méta-modèle présenté a été utilisé pour la modélisation du parcours de soins dans le cas de la grippe A (H1N1) et celui de la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO). Le modèle proposé par Benabdejlil est basé sur les flux et composé de trois blocs : le bloc de traitement, le bloc de suivi et le bloc de diagnostic. La Figure 9 présente le modèle relatif au bloc de traitement dans le cas de la grippe qui est constitué d'un ensemble d'enchaînements d'activités, de ressources et de flux.

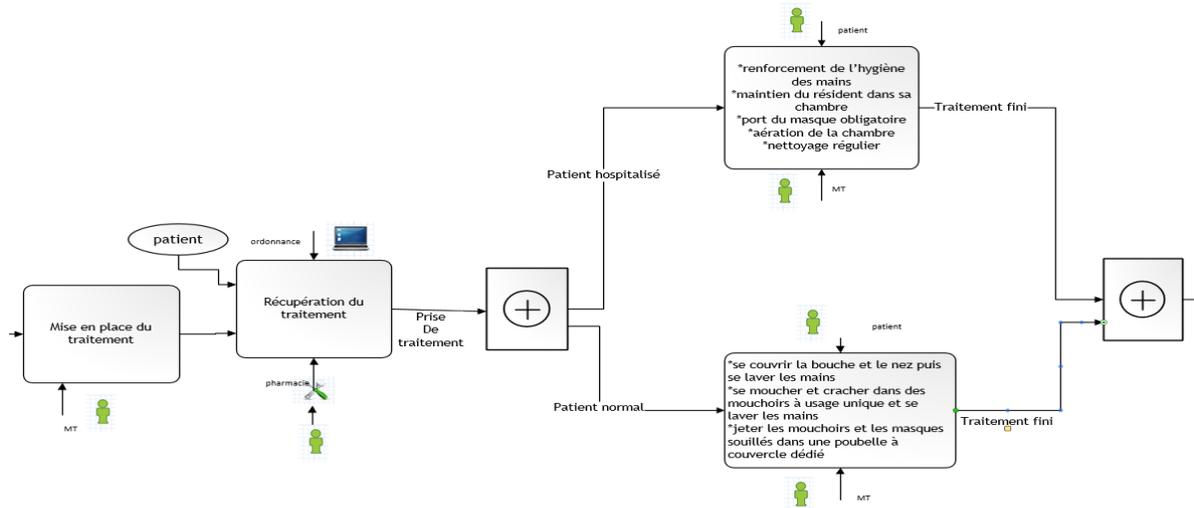


Figure 9. Modèle du bloc traitement de la grippe A H1N1

3.4 Architecture de services basée sur les processus de soins

A titre d'exemple d'application, Benabdejlil a proposé une architecture de services basée sur des processus de soins qui comporte les trois phases suivantes (Figure 10) :

- **Constitution du parcours de santé personnalisé** : le professionnel de santé et le patient concerné se basent sur le référentiel des parcours de soin afin de composer un parcours de soin personnalisé, tout en tenant compte des spécificités et interdépendances des maladies ainsi que des conditions particulières du patient.
- **Opérationnalisation du parcours de santé** : dans cette étape, le système propose les ressources adéquates et disponibles pour la prise en charge du patient, en se basant sur le référentiel des acteurs (professionnels de santé). Les acteurs (médecin, patient,

etc.) choisissent les ressources en fonction d'un certain nombre de critères (disponibilité, coût, et.).

- **Suivi et adaptation du parcours de santé** : une fois construit, le processus de soins est implanté sur une infrastructure de type plateforme pour être orchestré et suivi. L'implantation s'appuie sur l'intégration de composants logiciels et de services élémentaires déjà existants.

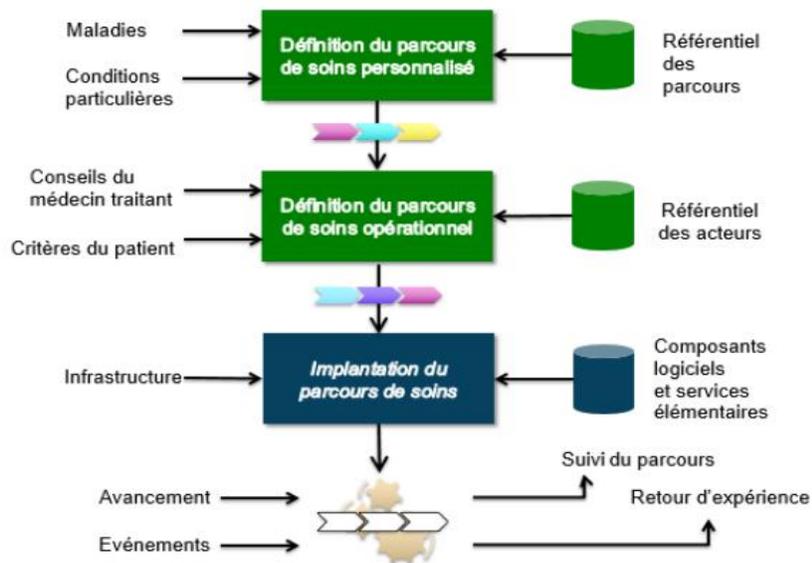


Figure 10. Architecture de services basée sur les processus de soins (Benabdejilil, 2016)

4> DE LA MODELISATION A LA SIMULATION (Bazoun, 2015) (Bouanan, 2016)

La modélisation, telle qu'elle est présentée dans la partie précédente, est souvent considérée comme semi-formelle dans le sens où elle ne permet pas d'écrire des processus suffisamment formalisés pour être exécutés. Dans ce cas, il est nécessaire de s'orienter vers des modes d'expression exécutables pour envisager une simulation.

4.1 Concepts de Transformation de Modèles de BPMN 2.0 vers DEVS (Bazoun, 2015)

Dans ce contexte, des travaux relatifs à la transformation de modèles ont été menés, parmi lesquels ceux de H. Bazoun (2015) effectués au sein de notre laboratoire. Ces travaux ont été menés dans le cadre du projet MSEE, un projet européen de recherche et développement en collaboration avec 18 partenaires de

9 pays européens. Le but de ce projet était de faire évoluer le concept de SSME (*Service Science Management and Engineering*) vers des systèmes de production et des usines de futur. L'objet était méthodologique et avait pour objectif d'adapter, modifier et étendre les concepts du projet pour les rendre applicables à des entreprises traditionnellement orientées vers une production industrielle et, d'un point de vue implantation, d'instancier les architectures et les plateformes orientées vers les services liés à l'internet du futur pour des systèmes globaux de production de services.

4.1.1 Architecture de Transformation BPMN vers DEVS

Dans les travaux de Bazoun (2015), la transformation de modèle est basée sur le concept de « *mapping* » entre méta-modèles. Le mapping est défini après avoir étudié le langage source et le langage cible. Les règles de transformation sont implémentées en utilisant ATLAS Transformation Language (ATL). Bazoun s'est principalement intéressé à la transformation de modèle BPMN (*Business Process Model and Notation*) vers DEVS (*Discrete Event Specification*). Le formalisme DEVS est reconnu comme un concept formalisé et largement usité pour la modélisation et la simulation du comportement de systèmes basés sur une hypothèse de comportement à événements discrets. Il fournit un cadre avec des concepts mathématiques conçu pour décrire la structure et le comportement d'un système. DEVS propose deux types de modèles : les modèles atomiques qui décrivent les comportements et les modèles couplés qui décrivent la hiérarchie du système (Zeigler et al., 2000).

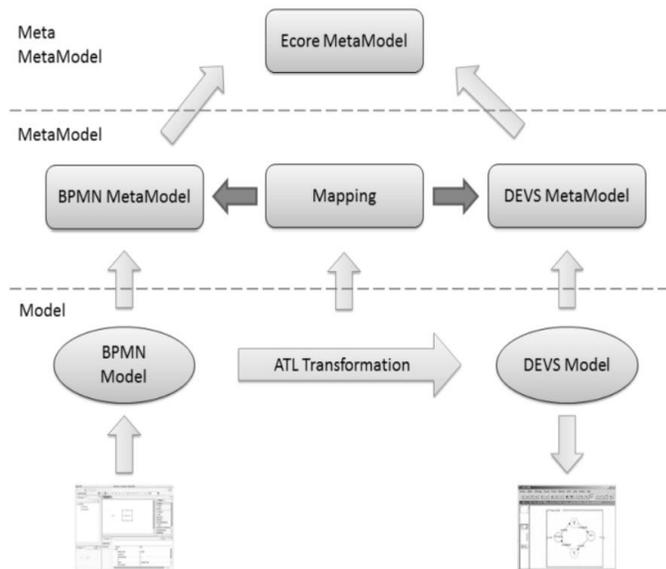


Figure 11. Architecture de Transformation BPMN vers DEVS (Bazoun, 2015)

L'approche par méta-modèle (OMG, 2003) est l'une des techniques de transformation les plus utilisées. La Figure 11 présente l'approche par méta-

modèle adaptée par Bazoun. L'approche identifie trois niveaux différents : modèle, méta-modèle et méta-méta-modèle. Le modèle BPMN est le modèle source à transformer, tandis que le modèle DEVS est le modèle cible résultant de la transformation.

4.1.2 Mapping de Concepts

Tableau 1. Analogie entre les éléments BPMN et composants DEVS

BPMN	DEVS
Pool	DEVS Coupled Model
Lane	DEVS Coupled Model
Sub process	DEVS Coupled Model
Flow Message Flow* Sequence Flow*	DEVS Atomic Model
Task Basic Task Send Task* Receive Task*	DEVS Atomic Model
Event Start* { Message, Timer, Conditional} Intermediate* {Message, Signal, Conditional} End* {Message, Timer, Conditional}	DEVS Atomic Model
Gateway Exclusive Gateway Inclusive Gateway* Parallel Gateway	DEVS Atomic Model

Le rôle du mapping dans la transformation du modèle consiste à définir les liens entre les concepts et les relations des deux méta-modèles (BPMN et DEVS). Dans (Mittal, 1999) une première cartographie de mapping a été proposée par les auteurs. Néanmoins, cette cartographie ne distingue pas les différents types de tâches et événements tel que BPMN 2.0 le propose, notamment pour ce qui concerne les situations potentielles qu'une tâche peut traiter. Pour compléter cette approche, différents types de tâches sont détaillées dans les travaux de Bazoun (tâche de réception, tâche d'envoi, tâche utilisateur, groupe de services et tâche manuelle). Ces tâches sont toutes transformées en des modèles DEVS atomiques, tandis que les autres composants de BPMN sont transformés en des modèles DEVS couplés. Le Tableau 1 présente le détail de ce mapping.

L'approche de transformation de modèle proposée par Bazoun ne couvre pas la notion d'intervention de différentes ressources (ressources humaines, appareils et/ou techniques) qui sont susceptibles d'affecter l'exécution du processus en général ou d'une activité en particulier. Ainsi ces travaux ne

permettent pas la transformation de l'ensemble des éléments du langage BPMN 2.0 du fait qu'ils ne sont pas tous traduits en des modèles DEVS. D'autre part, elle permet de simuler le système dans sa globalité sans modéliser le comportement des acteurs qui participent à l'exécution des différentes tâches.

4.2 Modélisation du comportement des agents pour la simulation (Bouanan, 2016)

La limitation concernant la modélisation du comportement des acteurs a été abordée dans les travaux de (Bouanan, 2016) qui a proposé un modèle de description des comportements des acteurs (nommés agents) dans le cas du phénomène lié à la propagation d'information.

4.2.1 La simulation de la propagation d'information

Dans le cadre de sa thèse, Y. Bouanan a développé une maquette de modélisation et de simulation de la propagation d'information dans un environnement nommé réseau social, cette maquette repose sur les étapes suivantes :

- **Pré-simulation** : la génération du modèle statique de la population de l'étude,
- **Simulation** : l'instanciation des modèles des acteurs et de leurs réseaux (représenter le comportement des individus et leurs interactions) ainsi que la simulation de la propagation d'information dans le réseau,
- **Post-simulation** : l'analyse des résultats (accompagnée d'actions).

Selon Bouanan, le principal challenge est de respecter le cycle de modélisation et de simulation présenté dans la Figure 12. En effet, le modélisateur doit être capable de définir les modèles proposés via l'utilisation de plusieurs formalismes. Il doit pouvoir définir des cadres d'expérience en manipulant les entrées et les sorties de ses simulations pour affiner les paramètres de ses modèles en fonction de ses observations (interprétation des résultats) afin de décrire le comportement des agents.

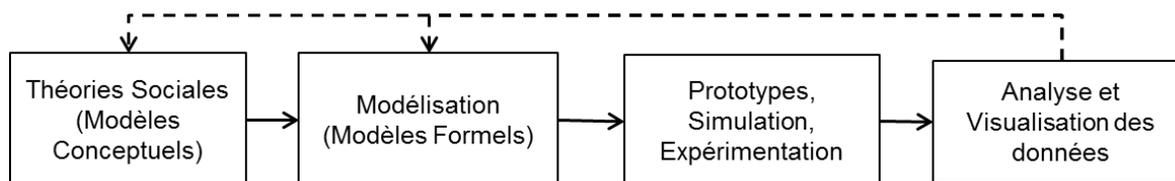


Figure 12. Cycle de modélisation et de simulation (Bouanan, 2016)

Les actions, ont les traductions suivantes dans la maquette proposée par l'auteur :

- **Modèles conceptuels** : correspondent aux modèles liés aux données sociales de la population (âge, sexe, niveau social, localisation ...) et à la topologie du réseau social (famille, voisinage, professionnel) ;
- **Modèles formels** : des modèles atomiques ou des compositions de modèles fournis par la plate-forme ou développés par le modélisateur ;
- **Simulation** : des scénarios pour étudier les phénomènes de propagation ;
- **Analyse** : un ensemble d'outils d'observations en temps réel de la simulation.

4.2.2 Description du comportement des agents

Le réseau d'individus constituant le cas d'étude dans les travaux de Bouanan est un réseau social de type multicouche, c'est à dire constitué de plusieurs couches sociales différenciées. Chaque couche représente un espace de sociabilité distinct et spécifique, à savoir les couches famille, amis, voisinage, etc. Les types de relations entre individus varient d'une couche à une autre. En dehors du groupe familial, d'autres liens d'interconnexions sont générés entre les individus en fonction de l'application par exemple du lien politique, religieux, etc. La structure globale pour la génération de la population est composée de deux éléments : le fichier de données d'entrée qui permet de configurer les valeurs des paramètres pour la population souhaitée et la base de données qui permet de faire le lien entre le module de génération de population et la simulation de la propagation de l'information.

5> CONCLUSIONS

Les concepts proposés par Touzi constituent un premier niveau de modèle qui propose une modélisation extrêmement générique de la notion de service et des objets consommateurs et/ou fournisseurs de service. Cette approche nécessite néanmoins d'être complétée. En effet, diverses notions n'ont pas été abordées et plusieurs questions n'ont pas de réponse. Par exemple, pourquoi choisir un fournisseur plutôt qu'un autre ? Ou encore, dans le cadre d'une composition de service, comment décider de cette composition et comment s'assurer de la cohérence du résultat ? D'autre part, tout ce qui concerne la propriété de l'objet fournisseur de service et tout ce qui relève de l'aspect transactionnel autour de l'objet ou de ses fonctions n'apparaît pas dans le modèle proposé. Ensuite, le cycle de vie des objets n'a été que très peu envisagé. Pourtant, savoir dans quelles phases de son cycle de vie un objet est réellement capable de mettre en œuvre ses fonctions, savoir ce qu'il devient dans les autres phases ou identifier

les phases où il sera consommateur de services sont autant de questions qui doivent trouver une réponse dans le cadre d'un modèle générique de cycle de vie.

Les travaux de Benabdejlil proposent une approche pour modéliser des parcours de soins types. Un certain nombre de limites sont identifiées. Les multipathologies ne sont pas traitées, de même que la fusion des processus qui en est le corollaire. C'est un sujet beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît car la gestion d'une personne ayant plusieurs maladies en même temps, et encore plus si ces maladies sont chroniques, nécessitent des connaissances médicales complémentaires à celles déjà incorporées dans les modèles des parcours. D'autre part, la personnalisation des soins n'est pas abordée, du fait que seuls les parcours types ont été considérés dans ces travaux. Pour finir, les modèles sont élaborés dans une vision statique puisque l'aspect dynamique, essentiellement lié à la disponibilité des ressources, n'est pas pris en compte.

Quant aux travaux de Bazoun et Bouanan, ceux-ci ont permis de coupler des composants de modélisation statiques et dynamiques grâce à des mécanismes de traduction de modèles et à une architecture de simulation d'individus. Malgré tout, ces travaux ne permettent pas de disposer d'une architecture générique dédiée à la transformation des modèles et ne prennent pas en considération ni l'aspect bidirectionnel des échanges entre agents ni l'appel des ressources nécessaires pour l'exécution des tâches.

6> QUESTIONNEMENTS SCIENTIFIQUES

Les apports qui viennent d'être présentés ont pour objectif de répondre aux questionnements initialement posés. Nous allons analyser maintenant comment ils y répondent, quels questionnements ont reçu une réponse et quels doivent évoluer.

- *Q1.1 : Comment définir un cadre global précisant le périmètre du service étudié, à savoir le service de santé ?*

L'approche proposée par Touzi permet d'avoir une définition assez précise de ce que peuvent être les services et les acteurs impliqués dans un système de services (consommateurs et fournisseurs). Même si l'approche est très conceptuelle, elle permet de réduire l'aspect polysémique de la notion de service et, ceci, dans tous les cas de services. Cela s'applique donc aux systèmes de santé, domaine d'ailleurs pris comme exemple dans la thèse de Touzi.

Nous pouvons donc considérer que cet apport répond au questionnement Q1.1, qui n'a donc plus lieu d'être.

- *Q1.2 : Comment définir un modèle général des services, suffisamment générique pour être applicable au maximum de cas et situations rencontrés ?*

L'argumentaire développé pour le questionnement précédent reste valide pour celui-ci. Les travaux de Touzi précisent le concept de service tout en restant généralisable. En revanche, si ces travaux permettent de modéliser un système de service, il n'explique pas comment le fournisseur est choisi face au besoin exprimé par un consommateur. Il ne dit pas non plus comment plusieurs services sont combinés lorsque la réponse nécessite cette combinaison et, corrélativement, comment plusieurs fournisseurs sont sollicités dans le cadre de la logique de cette combinaison.

Nous considérerons donc que le questionnement Q1.2 n'a plus de raison d'être mais qu'il doit être remplacé par deux nouveaux.

- ❖ *Q2.2a: Face à l'expression d'un besoin d'un consommateur, comment choisit-on le fournisseur ?*
- ❖ *Q2.2b : Lorsque la réponse à l'expression d'un besoin d'un consommateur nécessite la combinaison de plusieurs services, comment les combine-t-on et comment orchestre-t-on l'intervention des fournisseurs correspondants ?*

Cette question doit être approfondie pour le choix du (des) fournisseur(s) et la définition de séquence.

- *Q1.3 : Comment modéliser le comportement local des acteurs indépendants tout en prenant en compte les interactions entre acteurs et donc les influences mutuelles entre comportements ?*

L'approche de simulation proposée par Bouanan structure le système en un ensemble d'agents indépendants et collaboratifs. Cela permet de représenter les fournisseurs et consommateurs de service tel que définis par Touzi. Chacun de ceux-ci met en œuvre un comportement local et autonome mais qui s'influencent mutuellement. Aussi, l'approche répond totalement au questionnement.

Le questionnement Q1.3 n'existe plus.

- *Q1.4 : Comment modéliser une logique globale d'intervention (un parcours de soin pour ce qui concerne la santé), en intégrant tous les concepts nécessaires à sa bonne compréhension (synchronisation par exemple) tout en tenant compte du fait que les acteurs présentent des comportements indépendants ?*

Les travaux de Benabdejlil permettent de mettre en œuvre une démarche de modélisation des parcours de soin type. Ces derniers donnent donc la logique

globale d'un parcours de soins. Malgré tout, deux limites ne permettent pas de répondre à ce questionnement.

D'abord, un parcours type ne représente qu'une bonne pratique et doit être personnalisé et instancié pour chaque patient. Même sans entrer dans la problématique de la multi-pathologie, cette personnalisation n'a rien d'automatique. Les travaux de H. Benabdejlil prévoient explicitement les parcours personnalisés, en donne un méta-modèle mais n'explique pas le processus de personnalisation / instanciation. D'un point de vue modélisation, ce manque conduit à ne pas connaître précisément le déroulement du parcours et donc à ne pas pouvoir prévoir quand les ressources doivent être sollicitées.

Ensuite, en supposant que le parcours personnalisé soit modélisé, il reste à gérer l'interopérabilité du modèle global du parcours et des modèles locaux de comportement des agents sollicités. Ces modèles sont différemment exprimés, tant des points de vue sémantiques que syntaxique.

Au total, les travaux de Benabdejlil permettent d'abandonner le questionnement Q1.4 mais, compte-tenu du fait que la réponse n'est pas totale, entraînent deux nouveaux questionnements.

- ❖ *Q2.4a : Comment spécifier les processus de personnalisation / instanciation des parcours type pour obtenir le modèle d'un parcours personnalisé exprimant notamment les dates ou périodes où les ressources seront sollicitées ?*
- ❖ *Q2.4b : Comment assurer l'interopérabilité du modèle global du parcours et des modèles locaux de comportement des agents sollicités ?*
- *Q1.5 : Comment simuler l'ensemble du système en s'appuyant sur les modèles statiques des comportements des acteurs et de la logique globale ?*

Les travaux de Bouanan s'appuient sur une approche multi-agents qui correspond totalement à l'expression de comportements locaux parallèles. De plus, les travaux de Bazoun proposent une démarche de traduction de modèles statiques (BPMN) en modèles dynamiques (DEVS). Aussi, nous pouvons considérer que ce double apport répond à ce questionnement.

Le questionnement Q1.5 n'a plus lieu d'être.

- *Q1.6 : Comment utiliser la simulation pour évaluer la performance du système de santé du point de vue individuel ? Dans, ce cas, les performances à mesurer sont-elles différentes de celles suivies pour l'ensemble du système ? Si oui, quelles sont-elles ?*

La simulation permet d'évaluer des grandeurs classiques assimilables à des performances (temps, distance, ...). Le problème est donc d'abord d'identifier

quelles sont les performances intéressantes du point de vue individuel et, ensuite, de s'assurer que cette performance est mesurable grâce à la simulation.

Le questionnement Q1.6 peut donc être remplacé par le suivant.

- ❖ *Q2.6 : Quelles sont les performances intéressantes d'un point de vue individuel ? Ces performances sont-elles mesurables sur la base de l'exécution d'un modèle dynamique (simulation) ?*

CHAPITRE 2 : ETAT DE L'ART

Le chapitre 1 a débouché sur une liste de questionnements. L'état de l'art réalisé dans ce chapitre a pour objectif de voir dans quelle mesure la bibliographie actuelle permet d'y répondre. Nous allons donc essayer de couvrir dans ce chapitre les différents concepts qui vont nous servir dans notre étude, ainsi nous allons essayer de présenter les travaux qui peuvent répondre aux questions présentées.

1> LES SERVICES

Avant que des typologies de services soient proposées dans les années 1960, les concepts de services existaient dans la littérature économique ainsi que dans d'autres domaines. Clark (1940) a décrit le passage d'une économie préindustrielle à une économie industrielle et postindustrielle, en divisant le secteur d'économie en trois subdivisions: primaire (agriculture), secondaire (industrie) et tertiaire (services). Il a ensuite divisé le secteur des services en trois parties : les services quasi domestiques (nourriture et logement), qu'ils soient effectués à la maison ou non, les services aux entreprises et un autre groupe comprenant les loisirs, les soins de santé et l'éducation. L'objectif était d'impliquer et d'améliorer la réponse aux besoins du consommateur. Bell (1976) a étudié la société postindustrielle « orientée vers les services » d'un point de vue sociologique. Le premier travail de typologie de service et la définition des services proviennent principalement de la littérature marketing (Judd, 1964; Rathmell, 1966, 1974).

1.1 Taxonomie des services

Les premières classifications des services étaient plus focalisées sur la définition des services. Ce travail de classification était très important du fait qu'il représentait le début d'une analyse sérieuse sur la nature des services. Auparavant, il était acquis que les services n'étaient qu'un type particulier de biens, ce qui conduisait les spécialistes du marketing (notamment) à traiter les services de la même manière que les biens. Judd, (1964) et Rathmell (1966, 1974) ont été parmi les premiers à s'interroger sur la véritable nature des services. Certains auteurs étaient intéressés par les connaissances permettant de correctement positionner les services sur le marché tandis que d'autres étaient intéressés à mieux comprendre la stratégie de marketing des services. Hill (1977) a analysé les services d'un point de vue économique, son intérêt était de fournir un système de classification permettant l'identification et la quantification des

services. En même temps, des chercheurs en gestion des opérations se sont intéressés à ce domaine. Certains étaient intéressés par examiner les attributs stratégiques des services (Ryans et Wittink, 1977 ; Shostack, 1977) tandis que d'autres s'intéressaient à la productivité, à l'efficacité et à l'analyse de la performance dans le secteur des services (Chase, 1978).

D'autres chercheurs se sont également intéressés au design organisationnel (Mills et Margulies, 1980), ainsi qu'aux problèmes de gestion auxquels sont confrontés les services (Fitzsimmons et Sullivan, 1982). En outre, des auteurs tels que Haywood-Farmer (1988) ou Wemmerlöv (1990) ont élaboré des classifications des opérations de service destinées à résoudre les problèmes liés à la conception des produits et à la qualité des services. Silvestro et al. (1992) ont enrichi la littérature sur les services en développant une typologie basée sur une application des dimensions de service aux organisations existantes. Le résultat est une typologie à trois catégories, à savoir le service professionnel, l'atelier de service et le service de masse. Ces auteurs démontrent que la recherche sur la typologie des services se concentre sur la théorie de vérification plutôt que sur le développement conceptuel.

Plus récemment, le concept de service a été adopté par l'informatique, notamment dans le cadre du web. Cela a débouché sur des notions telles que les e.services, les web services ou le SOA (Services Oriented Architecture). Les chercheurs de ce domaine ont classifié les services selon trois perspectives présentées ci-après.

1.1.1 La perspective technologique

La définition d'un service est fortement influencée par les domaines proches de l'ingénierie du web et le développement de standards liés aux services web. Toutefois, dans ce domaine, le terme service est utilisé comme synonyme de web service ou e-service. Papazoglou (2003) définit un service comme un ensemble d'applications modulaires auto-contenues et auto-descriptives pouvant être publiées, localisées et invoquées depuis le web. Un service peut effectuer des actions allant de simples requêtes à des processus métiers complexes. Les services permettent d'intégrer des systèmes d'information hétérogènes en utilisant des protocoles et des formats de données standardisés, autorisant ainsi un faible couplage et une grande souplesse vis-à-vis des choix technologiques effectués. En synthétisant, Papazoglou classifie les services en fonction des deux définitions suivantes:

- le terme « service » décrit une fonctionnalité commerciale exposée par une entreprise sur Internet afin de fournir un moyen d'utiliser ce service à distance (Piccinelli et al., 2003);
- les services sont des applications modulaires qui peuvent être décrites, publiées, localisées et invoquées dans un réseau (Casati et al., 2003).

L'objectif initial d'un service est de permettre l'utilisation d'un composant applicatif de manière distribuée. Plus clairement, cela consiste à permettre l'utilisation d'une application à distance.

Dans le cadre de la perspective technologique, les services s'appuient sur le triplet de standards suivant : « *Web Service Description Language* » (WSDL), « *Simple Object Access Protocol* » (SOAP) et « *Universal Description, Discovery and Integration* » (UDDI) (Figure 13) :

- **WSDL** offre un schéma formel de description des services. C'est toujours dans le but de rendre les services faiblement couplés et autonomes, que la spécification WSDL a vu le jour (Christensen et al., 2001). Contrairement aux architectures monolithiques où la description des composants ainsi que les moyens invoqués dépendent fortement de l'infrastructure utilisée, la spécification WSDL offre une grammaire qui décrit l'interface des services de telle façon qu'ils se suffisent à eux-mêmes. La spécification WSDL présente les services comme des boîtes noires, présentant l'apparence d'un certain nombre de ports d'entrée et de sortie.
- **SOAP** assure la communication avec et inter services. SOAP permet l'échange de données structurées indépendamment des langages de programmation ou des systèmes d'exploitation. Le protocole SOAP n'est pas concerné par la nature du programme cible ou le traitement des messages, il ne définit pas un environnement d'exécution mais plutôt un modèle de liaison qui assure l'interopérabilité au niveau applicatif entre des applications hétérogènes.
- **UDDI** offre une manière uniforme de définir des registres des services et aussi un schéma uniformément extensible de descriptions des services.

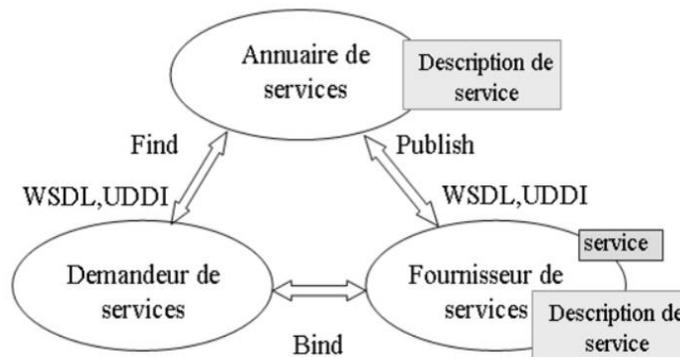


Figure 13. Modèle de service web

1.1.2 La perspective métier

Selon Pallos (2001), un service est un groupement logique de composants requis pour satisfaire une demande métier particulière. Par conséquent, il est

intéressant de mutualiser un ensemble de fonctions techniques indispensables aux applications réparties sur le web sous forme de services indépendants et standards, il peut être également avantageux de partager des services ayant trait à certaines grandes fonctions de l'entreprise, quel que soit son secteur d'activité.

Ces fonctions sont regroupées dans un service métier dont les fonctions sont généralement liées au commerce électronique et visent finalement à reproduire dans le monde virtuel les transactions commerciales du monde réel (transactions, contrats, facturation, paiement, etc.).

1.1.3 La perspective applicative

Le point de vue applicatif permet d'établir un pont entre la perspective métier et la perspective technologique. Le concept de service dans cette perspective n'est pas encore mature, et il existe peu de définitions. Ces définitions oscillent entre la perspective business et la perspective technologique. Par exemple, Quartel et al. (2004) définissent le service applicatif comme le service d'une application qui permet de supporter un processus métier. Le service applicatif est exposé par le système d'information pour qu'il soit invocable par les consommateurs ou par d'autres systèmes d'information.

De façon analogue, Penserini et al. (2006) suggèrent de modéliser les services sous la forme de capacités. Une capacité est associée à un but donné et définit la manière de le réaliser. La définition du service reste donc à un niveau applicatif.

Une définition générale et appropriée de la granularité des services introduite par Rosen et al. (2012) sépare les services en 7 niveaux, comme le montre la Figure 14. Dans cette architecture de service, chaque service dispose de moyens et de fonctionnalités distincts en fonction de sa granularité :

1. Les processus métier couvrent l'ensemble de l'entreprise et font usage des services sous-jacents.
2. Les services métier, de forte granularité, exposent les fonctions métier au sein de l'entreprise.
3. Les services de domaine, de granularité moyenne, représentent les services métier spécifiques à un domaine particulier de l'entreprise. Ces services sont exposés uniquement au sein de leur domaine.
4. Les services utilitaires (utility services), de faible granularité, fournissent des fonctionnalités communes à travers l'entreprise.
5. Les services d'intégration exposent les applications existantes en tant que services à l'usage du reste de l'entreprise et fournissent un accès cohérent aux données.

6. Les services externes fournissent un accès aux systèmes et aux applications des fournisseurs ou des partenaires externes.
7. Les services de l'infrastructure sont utilisés dans la construction des services, indépendamment du domaine d'activité (par exemple, la sécurité, l'audit et l'orchestration).

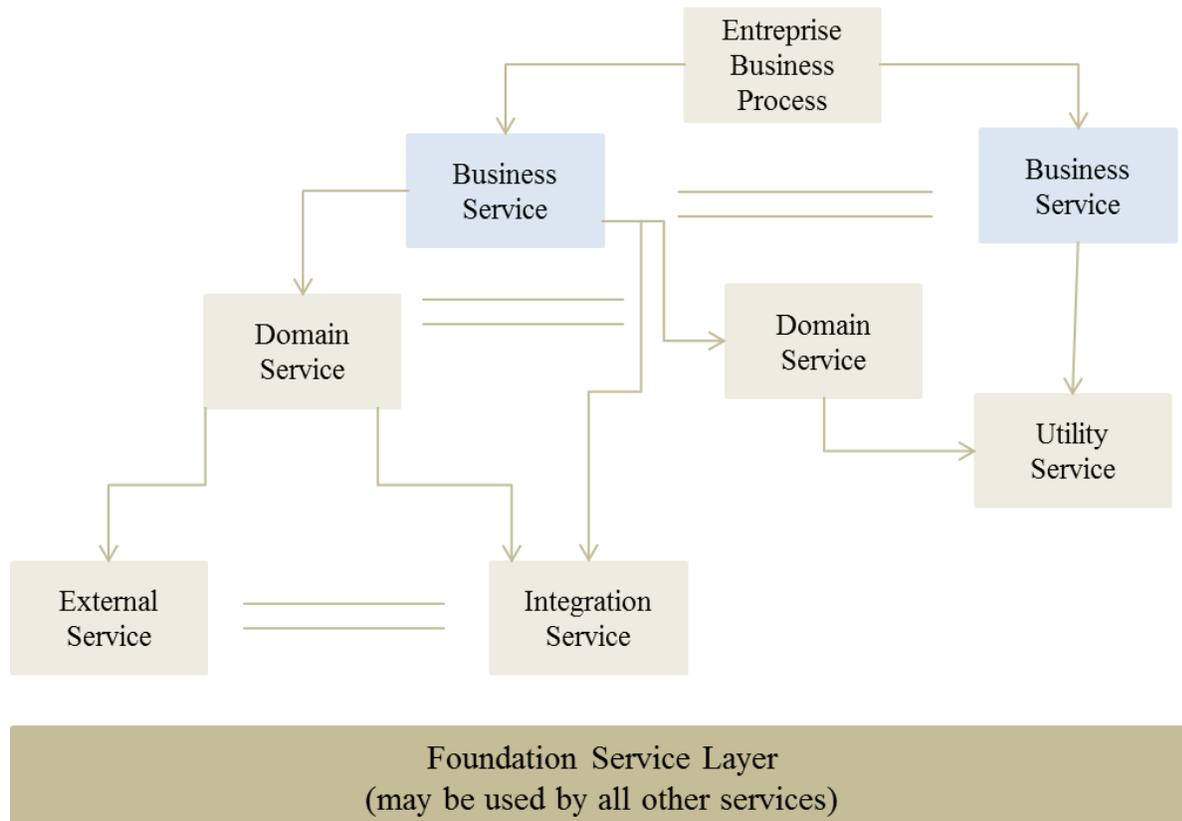


Figure 14. Hiérarchie de Services (Rosen et al., 2012)

1.2 Caractéristiques des services

Les services ont des caractéristiques originales qui font que leur conception et leur mise en œuvre sont souvent très différentes de celles des biens manufacturés. Au cours de la période 1963-1983, plusieurs chercheurs en sciences de gestion ont constaté que les services sont généralement caractérisés par l'IHIP, c'est-à-dire l'intangibilité, l'hétérogénéité, l'inséparabilité et la périssabilité. Ces caractéristiques font des services un domaine de marketing distinct de la commercialisation des produits.

1.2.1 L'intangibilité

Même si l'intangibilité des services est un concept central en marketing des services, il semble ne pas y avoir dans la littérature de consensus quant au sens à lui donner.

Shostack (1977) définit avec précision ce concept d'intangibilité, en écrivant que le terme « tangible » signifie palpable et matériel, « intangible » désigne donc quelque chose d'impalpable, d'incorporel et d'immatériel. À travers ses études, il confirme que les produits et les services ne sont qu'à dominante tangible ou intangible, et le fait de qualifier un service ou un produit de totalement tangible ou totalement intangible est complètement absurde. En se basant sur cette définition, des chercheurs ont montré que l'intangibilité est la caractéristique principale qui permet de distinguer la différence entre les produits et les services. Anderson et Zeithaml (1984) considèrent que l'intangibilité est la clé pour déterminer si une offre est classifiée en tant qu'un service ou qu'un produit.

Pour certains auteurs, l'intangibilité est définie comme l'inaccessibilité aux cinq sens avant achat : « *parce qu'il est intangible, un service ne peut pas être vu, senti, entendu, touché ou goûté avant d'être acheté* ». Flipo (1988) donne une autre version de la notion d'intangibilité, en écrivant que le service intangible est inaccessible seulement au toucher, et en lui donnant un synonyme : « l'immatérialité » qui est la caractéristique universelle à tous les services.

Ces différentes définitions traitent la composante physique de l'intangibilité. Par contre des études ont révélé que les services sont intangibles non seulement d'un point de vue physique mais également d'un point de vue mental (Berry, 1980). Contrairement aux chercheurs précédemment cités, cet auteur présente l'intangibilité sous deux formes : il relève en premier lieu que le service intangible ne peut pas être touché, mais met également en avant la complexité de définir précisément le service intangible, de le formuler et de le comprendre de façon claire et précise d'où la composante mentale. Après 1980, plusieurs auteurs ont aussi relevé l'existence de la composante mentale de l'intangibilité (Rushton et Carson, 1989 ; Edgett et Parkinson, 1993 ; Mittal, 1999 ; Grove et al., 2002 ; Sempels, 2005).

Enfin, il semble que la partie intangible dans les services les rendent difficile à imiter parce que leur qualité dépend largement de la culture de l'entreprise et de son personnel (Day, 2000). D'autres travaux récents ont soutenu que des difficultés particulières découlent de cette intangibilité, du fait qu'elle entraîne des problèmes de contrôle de la qualité pour le producteur et des problèmes d'évaluation pour le consommateur. C'est cette intangibilité, ou le manque d'attributs physiques, qui est la raison la plus probable de la variabilité du service, de l'inséparabilité et de la périssabilité (Singh et Singh, 2015).

1.2.2 L'hétérogénéité

Plusieurs interprétations de la notion d'hétérogénéité existent dans la littérature. Zeithaml et al. (1985) considèrent que cette notion reflète le potentiel de variabilité élevée dans la prestation de services.

D'autres auteurs (Edgett et Parkinson, 1993 ; Onkvisit et Shaw, 1991) définissent l'hétérogénéité comme l'occasion de fournir un certain degré de flexibilité et de personnalisation au service, plus particulièrement, sa standardisation. Par contre, la difficulté de standardisation des services est double parce que deux variables doivent être prises en compte : le temps et l'espace (Perron, 1996). En effet, un service ne peut être considéré comme standardisé que s'il est identique d'un consommateur à l'autre et d'un jour à l'autre. Or, selon Rathmell (1966), malgré la possibilité de standardiser les procédures de service, la mise en œuvre variera d'un consommateur à un autre, d'un prestataire à un autre et d'un jour à l'autre.

Une définition générale qui couvre les différents aspects de l'hétérogénéité du service a été proposée par Sempels (2005) dans sa thèse. Selon lui « *L'hétérogénéité fait référence à la difficulté de fournir un service dont le résultat est stable et uniforme* ». Cette difficulté est accrue dans le cas des services à haute densité de main-d'œuvre. Dans un grand nombre de cas en effet, la prestation du service repose sur des facteurs humains : le serveur au restaurant, le guichetier à la banque ou à la poste, le coiffeur, le psychothérapeute, etc. Ces personnes font partie intégrante du service, et ils affectent la perception que les consommateurs en ont. Or, les facteurs humains sont peu contrôlables, et contrairement à une machine, leurs comportements et leurs attitudes sont bien plus variables en termes de qualité.

1.2.3 L'inséparabilité

Les services sont produits et consommés simultanément (*inseparability ou simultaneity*) (Shostack, 1977 ; Grönroos, 1984). Kotler (1982) définit l'inséparabilité de la façon suivante : « *Un service est inséparable de son acte de création. La production et la consommation se réalisent de façon simultanée. Cela sera différent d'un produit qui existe sans avoir besoin d'être consommé* ». La production de service implique une interaction plus ou moins profonde entre l'offreur et le consommateur. La zone de contact peut être importante (high contact services) ou moindre (low contact services) mais la prestation est construite dans le processus de production d'un service (Eiglier et Langeard, 1987 ; Eiglier, 2004).

Pour Edvardsson et al. (2005) l'inséparabilité peut être vue principalement comme un problème pour l'organisation du service plutôt qu'une opportunité. De même, il existe plusieurs services qui ne demandent pas une implication directe du consommateur (réparation automobile, information et services financiers, nettoyage, transport de marchandises et services de défense fournis par le gouvernement), ce qui signifie que la production et la consommation n'ont pas besoin d'être simultanées (Lovelock et Gummesson, 2004). Quant à Pieters (2013), il trouve qu'il existe toujours un aspect fondamental de l'inséparabilité

dans le sens où le prestataire sait exactement ce que les consommateurs font du service.

1.2.4 La périssabilité

Dans la littérature sur la recherche en marketing, la périssabilité a souvent été associée à l'impossibilité de stocker des services (Beaven et Scotti, 1990 ; Edgett et Parkinson, 1993 ; Kotler, 2000 ; Vargo et Lusch, 2008). Cette caractéristique est liée à leur caractère non stockable du fait qu'ils ne peuvent pas être produits à l'avance et conservés. La simultanéité de la production et de la consommation du service implique l'impossibilité de le fabriquer à l'avance ou de le stocker (Judd, 1964). De la sorte, les prestataires de service rencontrent souvent des difficultés pour réguler l'offre en fonction de l'évolution de la demande.

En outre, la participation du consommateur à la production de nombreuses prestations implique une incertitude sur la durée du processus et par conséquent sur l'utilisation de la capacité à produire. La notion de périssabilité désigne l'incapacité de conserver un stock des services qui sont déjà produits, cette propriété est étroitement liée à l'inséparabilité, car la simultanéité de la production et de la consommation implique l'impossibilité de produire un service à l'avance (Pieters, 2013).

Les quatre caractéristiques présentées ont d'abord été mises en avant dans un manuel d'opérations écrit par Sasser et al. (1978). Beaucoup d'autres caractéristiques ont été améliorées mais n'ont pas été largement acceptées. Un exemple est l'absence de l'utilité dans les achats de services mentionnée par Judd (1964) et Rathmell (1966, 1974) et dans les aperçus élaborés par Lovelock et Gummesson (2004) et Pauli (2016).

1.3 Le processus de production d'un service

Certains auteurs préconisent l'emploi du terme servuction pour la réalisation de service, comme l'on désigne production de la réalisation de produits. Ce néologisme est le résultat de la contraction des termes SERVICE et PRODUCTION. En sciences de gestion la notion de servuction désigne le processus de production d'un service (Eiglier et Langeard, 1987).

Le système de servuction prend en compte les relations entre les différents éléments suivants : le consommateur, le support physique, le personnel en contact, le service, le système d'organisation interne, les autres consommateurs. Pour qu'un service se réalise, la présence voire la participation du consommateur est obligatoire. Originellement, le processus de servuction n'est possible que grâce au concours du personnel en contact et à la présence d'un support physique. Depuis l'avènement de la grande distribution et du libre-service, les consommateurs jouent un rôle non seulement prépondérant dans le processus de

servuction, mais aussi plus actif : ils assistent, participent et contribuent également à la fabrication de la prestation de service, ce qui entraîne une redéfinition des frontières entre ce qui est pris en charge par le personnel en contact, par les consommateurs et par les technologies (Bonnemaizon et al., 2012). Par exemple, lorsqu'il utilise une caisse automatique, le consommateur prend en partie en charge l'activité de l'hôtesse de caisse : il scanne les produits de son panier et procède lui-même à l'encaissement. Le consommateur peut dans ce cas consommer des offres de service sans l'assistance des employés (Meuter et al., 2000) (Mencarelli et Riviere, 2014). D'autre part, L'élaboration d'une prestation de service fait appel à une suite de processus spécifiques à la nature même de la prestation en question. Chaque type de prestations offertes est donc représenté par une cartographie qui lui est propre.

1.4 Relation consommateur/Fournisseur de Services

Selon Peelen et al. (2006), le terme relation évoque un sentiment qui peut s'exprimer entre deux personnes : attraction mutuelle, respect, considération, dépendance etc. Dans ce cadre, la relation suppose une interaction intermittente ou continue entre plusieurs personnes et requiert des échanges de différentes natures sur une période. La notion de relation dans la littérature de marketing a été toujours considérée comme étant un « état d'association » (Damperat, 2005).

Dans les travaux de Guibert (1996), les relations consommateur-fournisseur RCF sont définis en tant que processus d'interaction et d'échange entre une organisation de clients (acheteur /consommateur) et une organisation de fournisseurs (vendeur/ producteur). Dans ce cadre, Macneil (1977, 1982) a identifié deux types d'échange possible:

- **L'échange discret** : transactions discrètes caractérisées par des intensités relationnelles très faibles,
- **L'échange relationnel** : s'inscrit sur le long terme et se caractérise par des intensités relationnelles élevées concourant à la régulation des échanges relationnels et à la réduction des comportements opportunistes (Heide et Miner, 1992 ; Wang et Wei, 2007).

La situation dans laquelle se déroule l'échange peut être caractérisée par la proximité des acteurs, la fréquence de l'échange, le degré d'interdépendance (Chen et Paulraj, 2004 ; Kumar et al., 1995) et l'orientation des relations dans le temps (Dwyer et al., 1987 ; Macneil, 1982). Dans le même contexte, Sako et Helper (1995) définissent deux types de RCF :

- les relations distantes ou "antagonistes" à faible intensité relationnelle et au sein desquelles chaque acteur considère l'autre comme un rival (Watts et al., 1995) ;

- les relations coopératives et étroites caractérisées par un échange d'informations et un engagement des partenaires élevés.

Une autre typologie de RCF est abordée par Barbat (2011), cette typologie repose sur la notion de la dépendance :

« Les travaux appréhendent les relations consommateur/fournisseurs comme des relations de pouvoir et de dépendance à l'égard des ressources. Cette théorie se focalise sur l'importance des variables environnementales dans la compréhension du processus de décision des organisations et postule que les entreprises, n'étant pas en situation d'autosuffisance pour répondre à leurs besoins, doivent acquérir des ressources auprès d'organisations extérieures. Il en résulte une dépendance mutuelle, plus ou moins déséquilibrée, envers les organisations qui détiennent ces ressources et une incertitude dans la prise de décision de l'entreprise ».

1.5 Concept d'évaluation des services

Le concept de « qualité de service » est difficile à définir et à mesurer, que l'on se situe dans le domaine général des services ou dans celui plus spécifique des services informatiques. De manière générale, la qualité d'un service peut être définie selon deux perspectives : celle du prestataire et celle du consommateur. Pour le prestataire, la qualité d'un service est sa qualité objective mesurée par un ensemble de facteurs associés aux éléments matériels qui déterminent sa position par rapport à celle des services concurrents (Jun, 1982). En revanche, du côté consommateur, la mesure de la qualité d'un service à un caractère plus subjectif. On parle ici de la qualité perçue basée sur le jugement du consommateur ou sa satisfaction (Nguyen, 1991 ; Olson et Jacoby, 1972).

Bien que beaucoup d'efforts aient été consentis pour mesurer la qualité, il n'y a pas de consensus sur le sujet (Wisniewski, 2001). Pourtant, son importance est capitale pour les gestionnaires (Parasuraman et al., 1985). Les concepts de performance et de qualité sont souvent considérés comme étant synonymes et sont utilisés de façon interchangeable. Dans la littérature la performance est considérée comme un processus qui estime l'efficacité et l'efficience, elle s'appuie sur des indicateurs et des constats (référentiels) qui permettent la mesure de la qualité du service dans le but de son amélioration (Sutter, 2006). La notion de qualité peut se référer à la conformité à un standard ou à la réalisation des attentes de l'utilisateur ou du consommateur. La notion de satisfaction des besoins et des attentes est le critère le plus largement utilisé dans les recherches sur l'évaluation de la qualité des services (Froman et Gourdon, 2003 ; John et John, 1994 ; Wisniewski, 2001). Il existe de nombreux outils d'évaluation dans la littérature, émanant de domaines très divers, parmi lesquels :

- **l'enquête de satisfaction** : la mesure de la satisfaction des consommateurs est au cœur de toute démarche qualité dans toute

unité. Celle des collaborateurs (baromètre social) s'inscrit dans le même esprit, dans ce contexte des enquêtes sous forme de questions destinées aux consommateurs sont sollicités.

- **l'évaluation des fournisseurs** : les produits/services en entrée du processus production conditionnent la qualité du produit livré au consommateur. Pour maîtriser ses achats, il convient pour tout organisme de mettre en place des mesures adéquates comme l'évaluation des fournisseurs.
- **l'audit Qualité** : un audit qualité est une évaluation prenant la forme d'un constat formel du respect d'un référentiel ou de dispositions préétablies. Le constat identifie des écarts par rapport à des référentiels.
- **le benchmarking** : une forme moderne d'acquisition de savoir, c'est une démarche destinée à améliorer les performances de l'organisme en comparant les techniques de gestion, d'organisation de son organisme à celles des meilleurs dans chaque métier, les « best in class ».
- **l'analyse de la valeur** : une méthode de travail en groupe centrée sur le consommateur, et qui détermine les facteurs clés de réussite.
- **l'évaluation des pratiques professionnelles (EPP)** : notamment utilisée dans le domaine de santé afin d'améliorer les pratiques professionnelles via une évaluation formative.

2>

APPROCHES DE MODELISATION ET SIMULATION APPLIQUEES AUX SERVICES

Comme tous autres systèmes, les services doivent être modélisés pour pouvoir être maîtrisés. La suite de cette section a pour objectif de présenter plusieurs approches le permettant. Dans ce cadre, nous présenterons d'abord des méthodes de modélisation d'entreprise (avec un focus particulier sur les approches orientées processus) puis des approches formelles permettant la simulation.

2.1 Modélisation d'entreprise

La modélisation d'entreprise a fourni un ensemble d'approches, méthodes et architectures permettant une modélisation semi-formelle des systèmes complexes. Certaines sont orientées processus, d'autres sont plus générales mais possèdent un intérêt pour notre domaine d'étude.

2.1.1 Processus d'entreprise

Un processus est défini comme un ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforme des éléments d'entrée en éléments de sortie (ISO, 2005). De nombreux ouvrages abordent cette notion et présentent des approches visant à la rendre opérationnelle au niveau des entreprises et des organisations en général. Dans ce contexte, l'approche processus est une méthode de modélisation des activités de l'entreprise qui permet, à travers une définition systématique des activités dédiées pour l'obtention d'un résultat désiré :

- d'obtenir des résultats cohérents et prévisibles,
- de définir des priorités,
- de proposer des axes d'amélioration.

Dans son ouvrage « La cartographie des processus », Mougin (2011) définit le processus comme un ensemble de ressources qui attendent un déclencheur d'activité. Ces ressources forment deux grandes catégories, il y a les ressources matérielles comme les infrastructures, les machines, les outillages, les logiciels, etc. et les ressources humaines. Cet ensemble de ressources utilise de l'énergie, des matériaux et travaille jusqu'à ce que la tâche demandée soit terminée et livrée à l'utilisateur final.

La description des processus implique leur cartographie. En fait, la cartographie des processus est un outil de mesure de leur évolution, elle est indispensable pour adopter une démarche de management par processus. La cartographie des processus offre une vue globale du fonctionnement de l'organisme et permet de visualiser ses processus ainsi que leurs interactions. Les avantages de la cartographie de processus résident dans le fait qu'elle permet une communication de manière identique à un grand nombre d'acteurs impliqués dans une activité complexe et de donner du sens et de la clarté immédiate sur les tâches à réaliser. Pour élaborer une cartographie permanente, il y a deux points à souligner. Tout d'abord, les différents concepts doivent être compris par tous les participants, il faut donc les faire valider par les acteurs impliqués dans le processus. Deuxièmement, la cartographie ne doit pas être trop surchargée ou illisible.

2.1.1.1 Processus métiers

a) Définition

Une « procédure » désigne une méthode qu'il faut suivre pour réaliser un ouvrage ou pour régir des opérations. C'est donc une succession imposée de tâches à réaliser (Dahman, 2012), puisqu'elle concerne les unités organisationnelles, la « procédure d'entreprise » représente la manière de mettre en œuvre tout ou une partie du métier d'une entreprise. A l'opposé, un procédé

ou « processus » représente une démarche indicative qui est communément définie comme « *un ensemble fini d'activités ou un enchaînement d'opérations qui transforment des éléments d'entrées en vue d'obtenir des éléments de sorties* » (Hoyle, 2005). La notion de processus a fait émerger celle du « processus métier ». Un processus métier est identifié par au moins un objectif et un degré de succès qualitativement ou quantitativement mesurable.

Différentes définitions ont été proposées pour les processus métier. Parmi celles-ci, nous retiendrons celle proposée dans (Mili et al., 2010) : « *Les processus métier sont les processus représentatifs des activités de l'entreprise indépendamment des moyens humains et techniques. Ces processus interfèrent de manière transversale dans le système d'information et peuvent même traverser les frontières organisationnelles internes de l'entreprise. Les processus métiers traversent même les limites de l'entreprise pour collaborer avec les partenaires comme les fournisseurs et les distributeurs* ».

Dans la littérature, on identifie souvent trois niveaux de processus métiers (Ahmed et Matulevičius, 2013 ; Dreiling et al., 2005) :

- **Niveau entreprise** : décrit des processus avec un haut niveau d'abstraction qui relie une entreprise à son environnement (partenaires, etc.). Ils servent à décrire les entrées et les sorties des processus et relient les processus entre eux.
- **Niveau opérationnel** : représente des processus qui décrivent les activités et leurs relations nécessaires à réaliser les fonctions du métier. Ils sont modélisés de façon plus détaillés mais ne tiennent pas compte de leur implémentation.
- **Niveau implantation** : les processus de ce niveau sont les spécifications techniques nécessaires à la réalisation des activités des processus. Dans un environnement IT, il s'agit des composants techniques supportant l'exécution du processus.

b) Méta-modèle du processus métier

Les processus métiers intègrent plusieurs concepts parmi lesquels on trouve les activités, les ressources et les transitions. Les activités d'un processus métier sont exécutées par des acteurs jouant des rôles particuliers, consommant des ressources et en produisant d'autres. Les activités peuvent être déclenchées par des événements et peuvent à leur tour produire des événements. Les activités d'un processus peuvent être liées par des dépendances de ressource (dépendances de producteur-consommateur) ou des dépendances de commande (une activité déclenchant une autre). Les acteurs opèrent à l'intérieur des frontières des organisations qui exécutent des fonctions métiers spécifiques. Les rôles définissent les relations entre fonctions et ressources. Le méta modèle présenté

dans la Figure 15 (Mili et al., 2010; Morley et al., 2005) permet de montrer les interactions entre les différents concepts du processus métier.

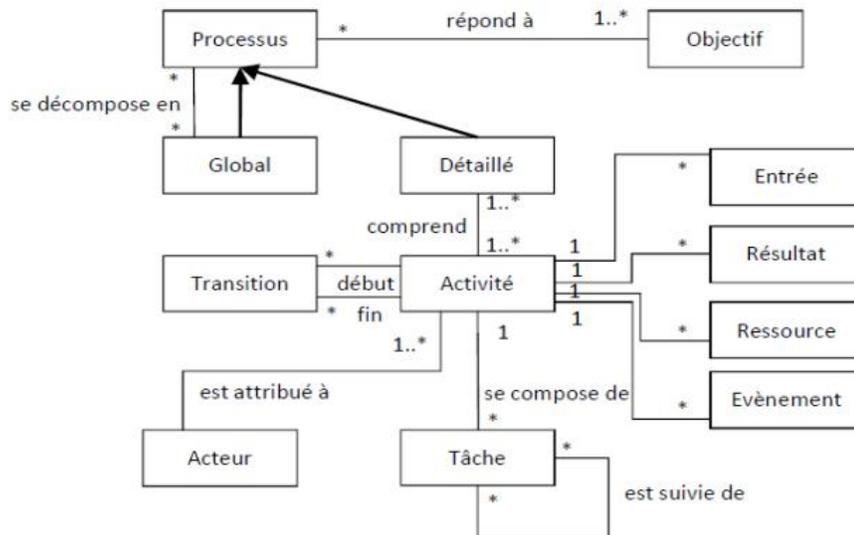


Figure 15. Méta modèle du processus métier (Mili et al., 2010; Morley et al., 2005)

c) *Caractéristiques des processus métiers*

Un processus métier est un concept abstrait qui n'existe qu'à travers le travail des employés assistés de systèmes automatisés et qui présente diverses caractéristiques (Briol, 2008) :

- La portée d'un processus métier est étendue, en intégrant largement les flux de matières et d'information de l'organisation dans la production des biens et des services.
- Le processus métier est dynamique en répondant aux besoins et attentes des consommateurs, tout en s'accommodant des changements du marché ou contextuel de l'organisation.
- Le processus métier est distribué et offre une certaine souplesse d'adaptation, en intégrant d'autres processus métiers situés en dehors de la frontière de l'organisation.
- De nombreux processus sont internes à l'entreprise. Au sein de la structure, ces processus restent dans les limites de l'entreprise, du fait qu'ils n'utilisent que des services internes. Certains processus nécessitent une interaction avec d'autres entreprises. Ces processus externes posent le problème de l'intégration B2B (d'entreprise à entreprise). Quant aux processus externes, ils utilisent une combinaison de services internes et externes.

d) *Gestion de processus métiers BPM*

Afin de faire face à la complexité et à l'importance croissante des processus métiers, les chercheurs ont proposé des approches pour gérer ces derniers. BPM (*Business Process Management*, en français « gestion des processus métiers ») est la discipline qui gère la chaîne complète de la modélisation jusqu'au déploiement des processus d'une entreprise. D'après Van Der Aalst et al. (2003) « *BPM comprend les méthodes, les techniques et les outils pour concevoir, exécuter, gérer et analyser les processus opérationnels en s'appuyant sur des acteurs qui peuvent être des êtres humains, des organisations, des applications et d'autres sources d'information* ».

La gestion des processus métiers est définie comme « *l'art de la compréhension, codification, automatisation, et amélioration de la manière dont une compagnie effectue ses affaires* » (Van de Putte et al., 2001). Dans ce sens, BPM coordonne et gère les relations entre les applications existantes de l'entreprise, les employés ainsi que toutes les relations commerciales en dehors de l'entreprise. En outre, il inclut des techniques et des outils pour supporter la conception, l'exécution, la gestion et l'analyse des processus métiers opérationnels (Gaaloul, 2006). La gestion de processus métiers n'a rien de nouveau mais l'utilisation de la technologie de contrôle et d'amélioration de l'exécution des processus métiers est plus récente. L'implémentation technologique de la gestion de processus métier s'appelle un système de gestion de processus métier (BPMS) (Van de Putte et al., 2001).

En général, les objectifs d'une telle démarche sont :

- L'optimisation de la chaîne de valeur de l'entreprise en définissant, supervisant et améliorant les processus métiers,
- La capitalisation sur l'organisation (personnels, rôle, etc.) et sur le système d'information,
- L'automatisation des processus afin d'offrir une flexibilité aux processus pour qu'ils s'adaptent au changement.

2.1.1.2 Workflows

a) *Définition*

Plusieurs définitions ont été apportées dans la littérature au concept de Workflow parmi lesquelles on cite les trois définitions suivantes :

- On appelle « Workflow » (traduit littéralement par « flux de travaux ») « *la modélisation et la gestion informatique de l'ensemble des tâches à accomplir par différents acteurs impliqués dans la réalisation d'un processus métier (aussi appelé processus opérationnel)* ». Le terme « Workflow » pourrait donc être traduit

en français par la gestion électronique des processus métier (Comtet, 2012).

- Un Workflow est « l'automatisation des processus métiers par échange de documents, informations et tâches entre les c'est-à-dire l'information circule d'un participant (ou d'un groupe de participants) à l'autre, en fonction d'un ensemble de règles de gestion prédéfinies » (WfMC, 1999).
- Le Workflow est « *une technologie qui propose des outils de coordination de tâches réalisées par des intervenants humains, de gestion et d'automatisation des processus d'entreprises* » (Saïkali, 2001). Le Workflow est défini aussi, comme étant un type d'application de Groupware (WfMC, 1999).

b) Classification des Workflows

Dans la littérature, plusieurs classifications des systèmes de Workflow ont été élaborées (Georgakopoulos et al., 1995 ; Van Der Aalst et al., 2003) suivant différents critères : par domaine d'application, par objectif, par degré de structuration du Workflow, etc. Cependant, la classification proposée par Van-der-Aalst (1998) est la plus répandue et la plus reprise par différents auteurs. Elle propose, en effet, de distinguer quatre catégories de Workflows :

- **Les Workflows administratifs** : correspondent à tout ce qui est routage de formulaires, basé en général sur une infrastructure de messagerie ;
- **Les Workflows de production** : concernent l'implantation du cœur du métier de l'entreprise (gestion des emprunts dans une banque, gestion des sinistres dans une compagnie d'assurance, ...) ;
- **Les Workflows ad-hoc** : servent pour le traitement d'une procédure de peu d'intérêt et dont la structuration est faible (circulation de notes d'information) ;
- **Les Workflows collaboratifs** : utilisés pour la gestion d'un travail de groupe dont le processus est complexe, et souvent créé pour un travail de groupe particulier (travail collaboratif, équipe virtuelle, ...).

c) Méta modèle du Workflow

Le Workflow intègre plusieurs concepts présentés dans le méta-modèle proposé par la Coalition Management des Workflow WfMC (Hollingsworth, 1995) rappelés ci-après et présentés dans la Figure 16 :

- **L'activité** (« *activity* ») est une étape d'un processus lors de laquelle une action élémentaire est exécutée ;
- **Un acteur** (« *actor* ») est une ressource qui représente une entité faisant partie d'une organisation et participant à la réalisation d'un processus ;
- **Un rôle** (« *role* ») est un qualificatif attribué à un ou plusieurs acteurs, décrivant en général ses compétences dans le processus ou l'organisation ;
- **Une donnée** (« *relevant data* ») est un objet en rapport avec la réalisation d'une activité (en entrée et/ou en sortie) ;
- **Une condition de transition** (« *transition condition* ») est le critère régissant la progression ou le changement d'état d'une activité (étape de travail) ou le passage à l'activité (étape) suivante lors d'un cas d'exécution donné, qu'il s'agisse d'une procédure manuelle ou informatisée (WfMC, 1999) ;
- **Une application externe** (« *invoked application* ») est une application informatique dont l'invocation est nécessaire à la réalisation de la tâche.

Afin d'approfondir la compréhension des Workflows, il est intéressant d'apporter encore quelques autres définitions complémentaires à savoir : les processus métiers et leurs cycles de vie.

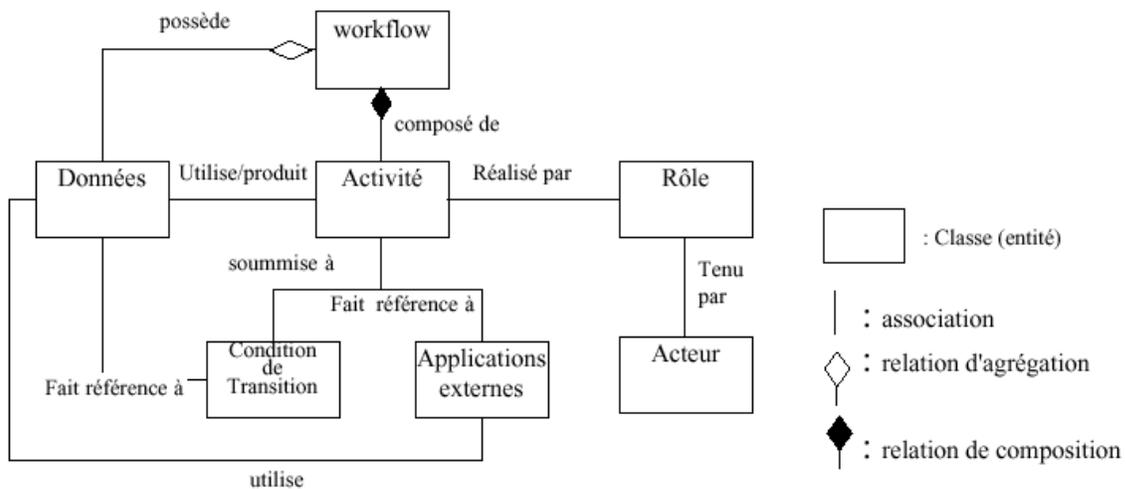


Figure 16. Méta modèle du Workflow selon (Hollingsworth, 1995)

2.1.1.3 Processus métier et Workflow

a) *Différence*

Un processus ne doit pas être confondu avec un Workflow. À savoir qu'un Workflow – anglicisme pour « flux de travaux » – est la traduction informatique d'un processus partiellement ou entièrement automatisé. Un Workflow sert à fournir à chacun des acteurs d'un processus, les informations nécessaires à l'exécution des activités qui le composent. Par exemple, pour un processus de publication en ligne, il s'agit de modéliser les tâches de la chaîne éditoriale pour pouvoir dématérialiser le circuit de validation des publications. Pour cela, le processus doit être modélisé avant d'être exécuté par un dispositif informatique : un moteur de Workflow (Rosen et al., 2012).

Selon Leymann et Roller (2000), il existe une ambiguïté entre le concept de Workflow et celui de processus métier, du fait qu'un Workflow décrit les étapes qui sont exécutées automatiquement par une machine, tandis qu'un processus représente le monde réel, il décrit les parties exécutables et les parties non exécutables. En fait, le processus métier est le résultat de la première étape du cycle de vie d'un système de Workflow, qui consiste à modéliser les processus de l'entreprise par des analystes métiers. Un Workflow est le résultat de la deuxième étape du cycle de vie, qui consiste à modéliser et configurer par des experts techniques les processus métiers, dans un langage compréhensible et exécutable par les machines.

b) *Cycle de vie BPM/Workflow*

Afin de faire face à la complexité croissante et à l'importance croissante des processus métier, les technologies de l'information (TI) ont été mises à profit pour gérer les processus métiers.

Le cycle de vie du BPM fait partie de la définition générale du BPM. Van Der Aalst et al. (2003) ont adopté un cycle de vie pour le BPM inspiré du cycle de développement standard. Ce cycle de vie comprend 4 étapes (Figure 17) :

1. Représentation du processus (Process Design) : À cette étape, les processus métier sont modélisés pour le système BPMS ;
2. Configuration du système (System configuration) : Cette étape configure le système BPMS et l'infrastructure du système sous-jacent (par exemple, la synchronisation des rôles) ;
3. Exécution du processus (Process Enactment) : correspond à l'exécution du processus résultant par le système BPMS ;
4. Diagnostic (Diagnosis) : Grâce aux outils d'analyse et de surveillance, l'analyste BPM peut identifier les problèmes et améliorer les processus opérationnels.

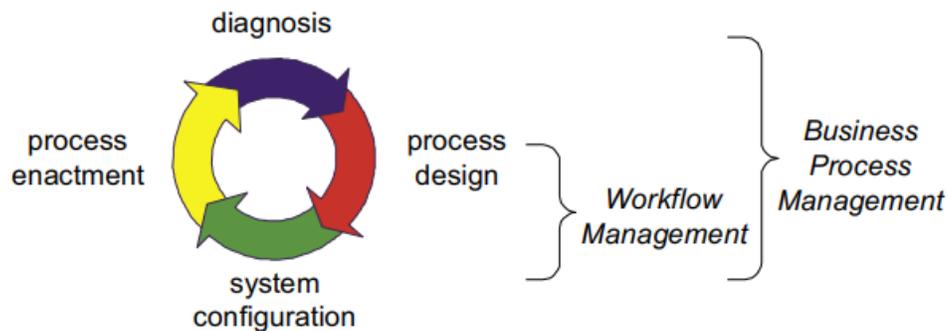


Figure 17. Cycle de vie BPM : gestion des Workflows et BPM (Van Der Aalst et al., 2003)

Selon le point de vue de Van Der Aalst et al. (2003) la gestion des Workflows (Workflow Management WfM) ne couvre que les trois étapes suivantes du cycle de vie : la représentation du processus, la configuration du système et l'exécution du processus, tandis que le BPM rajoute une phase de Diagnostic (Diagnosis) à son cycle. Ce point de vue fait de WfM un sous-ensemble logique du BPM. Plus tard, Hill et al. (2008) ont adopté un point de vue plus sectoriel sur le BPM et le WfM :

« La gestion des processus métiers (BPM) est une discipline de gestion orientée processus. Ce n'est pas une technologie. Le Workflow est une technologie de gestion de flux » Ici, le BPM est une discipline de gestion supporté par la technologie (WfM).

2.1.2 Langages de modélisation des processus d'entreprise

Sachant que les processus métier sont complexes à gérer, (Curtis et al., 1992) ont élaboré quatre points de vue les plus fréquents pour représenter un processus :

- **le point de vue fonctionnel**, une représentation des activités du processus en train d'être exécutées et des flux de produits ou d'information associés ;
- **le point de vue comportemental**, une représentation de « quand » les activités du processus sont exécutées: enchaînements séquentiels, boucles de rétroaction, itérations, prises de décision, conditions de déclenchement, etc. ;
- **le point de vue organisationnel**, une représentation de « où » et « par qui » dans l'organisation, les activités du processus sont exécutées, ainsi que les mécanismes physiques de communication et les supports de stockage ;

- **le point de vue informationnel**, une représentation des produits ou des informations générés ou manipulés par le processus, y compris leur structure et les interrelations.

2.1.2.1 Suite IDEF

La suite IDEF (*Integrated DEFINition*) a été développée à partir des années 1970 sous les auspices du programme ICAM (*Integrated Computer Aided Manufacturing program*) de l'U.S. Air Force (Bravoco et Yadav, 1985). Ces méthodes fournissent une réponse aux besoins ressentis en analyse et en communication entre les personnes impliquées dans l'amélioration de la productivité des entreprises (Johansson, 1993).

Les modules les plus connus d'IDEF sont les suivants :

- **IDEF0** est le plus connu. Il a été développé à partir de SADT (Figure 18) et est utilisé pour décrire les aspects fonctionnels d'un système ;

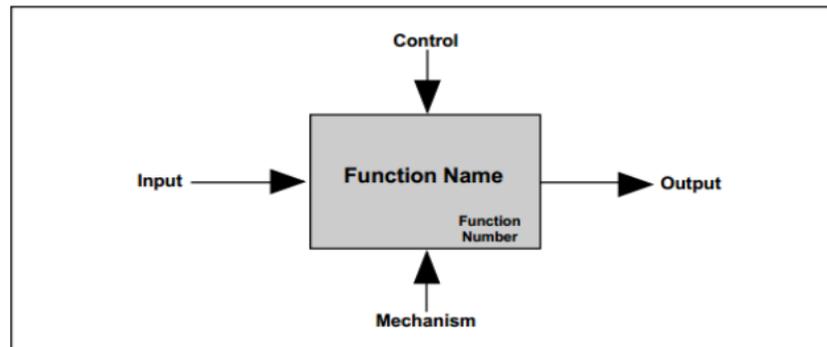


Figure 18. IDEF0 : Schéma de base

- **IDEF1** est dédiée à l'analyse de l'information et propose un langage équivalent au modèle entité-relation ;
- **IDEF1x** est une méthode augmentant les capacités d'IDEF1 et est utilisé pour la conception de bases de données relationnelles ;
- **IDEF2** sert à l'analyse dynamique des systèmes et s'appuie sur la théorie des files d'attente ;
- **IDEF3** est spécialement conçue pour la modélisation des séquences d'activités ou processus (Figure 19).

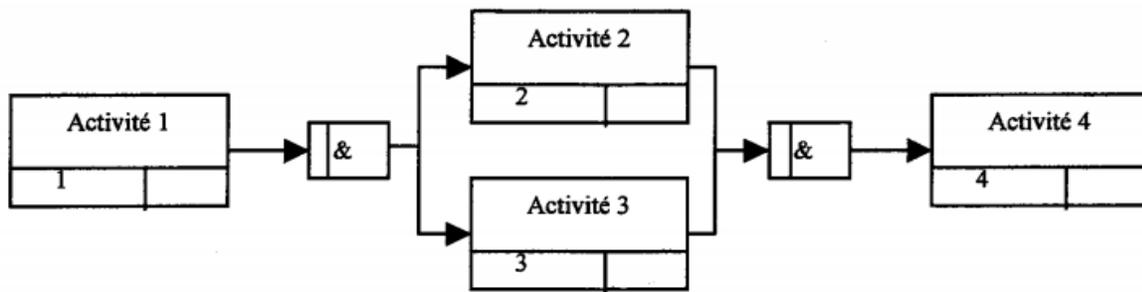


Figure 19. Diagramme IDEF3 (Abdmouleh, 2004)

2.1.2.2 UML

A partir de 1994, Rumbaugh et Booch (rejoints en 1995 par Jacobson) ont uni leurs efforts pour mettre au point le langage de description UML (*Unified Modeling Language*) (Guérin et Moussouni, 2001). UML est un langage graphique de modélisation des données et des traitements qui permet une analyse et une modélisation objet. UML est aujourd'hui un standard de l'OMG (*Object Management Group*) incontournable, stabilisé et industriel (UML, 2001).

Les auteurs d'UML ont estimé qu'il n'était pas opportun de définir une méthode en raison de la diversité des cas particuliers. Ils ont préféré se borner à définir un langage graphique qui permet de représenter et de communiquer les divers aspects d'un système d'information. Aux graphiques sont bien sûr associés des textes qui expliquent leur contenu. UML est donc un métalangage, car il fournit les éléments permettant de construire le modèle qui, lui, sera le langage du projet. Il est impossible de donner une représentation graphique complète d'un logiciel, ou de tout autre système complexe, de même qu'il est impossible de représenter entièrement une statue (à trois dimensions) par des photographies (à deux dimensions). Mais il est possible de donner sur un tel système des vues partielles, analogues chacune à une photographie d'une statue, et dont la conjonction donnera une idée utilisable en pratique sans risque d'erreur grave.

Sur la base de cet argumentaire, UML 2.0 est construit de manière analogue à CIM-OSA, GIM, ou IDEF en proposant un ensemble de langages associés à des vues différentes. Ainsi, UML 2.0 comporte quatorze types de diagrammes représentant autant de vues distinctes pour représenter des concepts particuliers du système d'information : diagrammes de paquetage, classe ou diagrammes structurels, diagrammes d'objets, diagrammes de structure composites, de composants, de déploiement, diagrammes de cas d'utilisation, diagrammes d'activité, diagrammes de state machine, diagrammes de communication, diagrammes de séquence, diagrammes de temps, diagrammes de vue d'ensemble d'interaction et profil diagrammes.

Les règles générales applicables à tous les diagrammes UML sont les suivantes :

- Un diagramme UML est une représentation graphique qui s'intéresse à un aspect précis du modèle. C'est une perspective du modèle, pas "le modèle".
- Chaque type de diagramme UML possède une structure (les types des éléments de modélisation qui le composent sont prédéfinis).
- Un type de diagramme UML véhicule une sémantique précise (un type de diagramme offre toujours la même vue d'un système).
- Combinés, les différents types de diagrammes UML offrent une vue complète des aspects statiques et dynamiques d'un système.
- Par extension et abus de langage, un diagramme UML est aussi un modèle (un diagramme modélise un aspect du modèle global).

2.1.2.3 BPMN

Le langage BPMN « *Business Process Modeling Notation* » est un standard pour la modélisation des processus métier d'une entreprise basée sur une notation graphique commune. BPMN est proposé par le consortium OMG/BMPI « *Object Management Group* » / « *Business Process Management Initiative* » depuis leur fusion en 2005. Il a été ensuite standardisé par l'OMG en 2006 (OMG, 2006). Le principal objectif de BPMN est de fournir un cadre commun permettant de décrire un processus d'une manière compréhensible pour tous les acteurs d'une entreprise, depuis les analystes métier qui crée les ébauches initiales des procédures, jusqu'aux développeurs responsables de mettre en place la technologie qui va exécuter ces procédures et ce, indépendamment de l'outil utilisé in fine (celui-ci étant bien entendu censé supporter la norme).

BPMN découple les informations métier des informations techniques et fournit une correspondance avec les langages d'exécution. Autrement dit, il permet de créer une passerelle standardisée pour combler le vide existant entre la modélisation des processus métier et les langages d'exécution des processus métier. La modélisation par BPMN se fait grâce à des éléments dont les principaux sont :

- **Des composants** (*events, activity, connections*) : on distingue les événements déclenchant un processus, les événements en cours de processus ou ceux terminant un processus. Les activités peuvent être élémentaires (tâche), décomposables (sous-processus) ou globales (processus). Les connexions (ou aiguillages) servent à contrôler l'évolution des flux. On distingue les connexions XOR, OR, INCLUSIV ou COMPLEX.

- **Des connecteurs graphiques** (*sequence flow, message flow, association*) : le connecteur « séquence flow » sert à représenter l'ordre d'exécution des activités. Il est placé horizontalement. Le connecteur « message flow » représente l'échange de messages entre deux entités situées dans deux conteneurs graphiques différents. Il est placé dans le sens vertical. Le connecteur lié à une association peut être utilisé par exemple pour associer un élément de documentation à une entité.
- **Des conteneurs d'entités** (*lane, pool*) : les conteneurs correspondent à une hiérarchisation de la contenance en s'appuyant sur l'organisation du système étudié.

2.1.2.4 GRAI Extended Actigram

GRAI Extended Actigram est un langage de modélisation de processus développé dans le cadre de GIM et de la méthodologie GRAI (Chen et al., 1997). GRAI propose de nombreuses constructions pour modéliser différentes fonctions et processus d'entreprise. Ce formalisme, qui est une extension d'IDEF0 (Grangel et al., 2008), permet de modéliser toutes les fonctions d'entreprise avec un niveau sémantique élevé. Les GRAI Extended Actigrams sont composés d'activités et de flux de contrôle, de Ressource, d'entrée et de sortie, comme SADT, mais ils fournissent également des opérateurs logiques afin de synchroniser les flux entre les activités.

Dans GRAI Extended Actigram (Figure 20), les flux peuvent être caractérisés comme produit ou information. Deux sortes de ressources sont prises en compte : homme ou matériel. En comparaison avec d'autres initiatives comme BPMN, GRAI Extended Actigram s'appuie sur un ensemble plus réduit d'objets graphiques et met l'accent sur l'aspect « business » des processus d'entreprise. De par sa syntaxe simple et accessible, GRAI Extended Actigram cherche à réduire l'écart entre concept et conception des processus d'affaire.

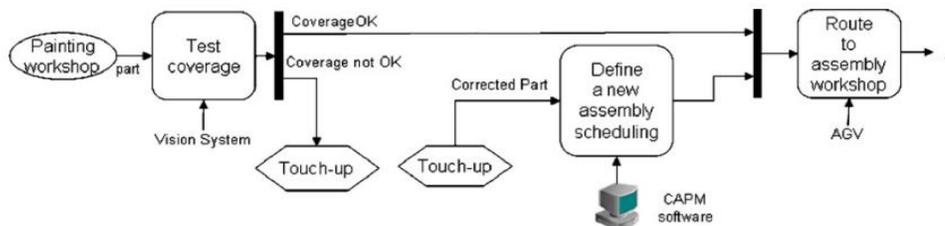


Figure 20. GRAI Extended Actigram

2.1.3 Autres méthodes de modélisation d'entreprise

La modélisation des processus d'entreprise a pour objet 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). Autrement dit, la modélisation des processus d'entreprise consiste à représenter leur structure et leur fonctionnement selon un certain point de vue, avec un certain niveau de détail et en fonction des objectifs. Le but principal de cette modélisation est de comprendre le fonctionnement global de l'entreprise afin de pouvoir améliorer ses performances (Zefouni, 2012).

La modélisation des processus métiers se situe au cœur de la démarche BPM (Koehler et al., 2008). C'est une approche qui permet de décrire la manière dont les entreprises conduisent leurs opérations. Elle comprend généralement des représentations graphiques indiquant les activités, les événements / états et la logique de contrôle des flux constituant un processus métier (Curtis et al., 1992; Davenport, 2005). En outre, ces représentations servent à réaliser des modèles qui peuvent également inclure des informations sur les données impliquées, les ressources organisationnelles / informatiques et potentiellement d'autres artefacts tels que les parties prenantes externes et les mesures de performance (Recker et al., 2009 ; Scheer et Nüttgens, 2000).

2.1.3.1 CIMOSA

La méthodologie CIMOSA (*Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture*) a été développée par le consortium AMICE dans le cadre du programme ESPRIT, entre les années 1984 et 1994 (Amice, 1993). Plus d'une vingtaine d'entreprises implantées en Europe ont contribué à CIMOSA. L'objectif de CIMOSA est de fournir un support tout au long du cycle de vie d'un système de production : depuis son analyse jusqu'à son implantation, son utilisation et sa maintenance, plus particulièrement dans le but de définir précisément les objectifs de l'entreprise et les stratégies manufacturières, permettre de configurer et de gérer l'exploitation du système CIM en réponse à ces objectifs et de gérer le système dans un contexte en changement perpétuel.

CIMOSA considère que toute entreprise se compose d'un grand ensemble de processus communicants chargés de réaliser les objectifs fixés par l'entreprise ainsi que d'un ensemble d'entités fonctionnelles (ou agents) réalisant les processus opérationnels en fonction de l'état du système.

Le but du cadre de modélisation de CIMOSA (Figure 21) (CIMOSA Association, 1994) est de fournir un cadre conceptuel, une méthode et des outils de modélisation pour assister l'utilisateur dans le développement du modèle particulier de son entreprise. Ce cadre est composé de deux parties essentielles qui sont : l'architecture de référence et l'architecture particulière. Le cadre de modélisation est composé de 3 axes de description, appelé cube CIMOSA :

- **L'axe d'instanciation** qui se compose de trois niveaux : un niveau générique, où sont définies les primitives de base du langage de modélisation ; un niveau partiel contenant des modèles partiels,

c'est-à-dire des structures prédéfinies et réutilisables pour un domaine d'application donné et, enfin, un niveau particulier correspondant aux modèles spécifiques de l'entreprise. Ces niveaux génériques et partiels constituent l'architecture de référence de CMOS (sujette à normalisation) alors que le niveau particulier correspond à l'architecture particulière d'une entreprise donnée (développée pour les besoins particuliers des utilisateurs).

- **L'axe de dérivation** qui préconise de modéliser l'objet d'étude suivant trois niveaux de modélisation : un niveau de définition des besoins permettant l'écriture du cahier des charges dans le langage de l'utilisateur final, un niveau des spécifications de conception permettant de spécifier et d'analyser dans le détail des solutions répondant aux besoins exprimés et un niveau de description de l'implantation (ou implémentation) permettant de décrire précisément l'implantation de la solution retenue.
- **L'axe de génération** qui définit quatre vues (les fonctions, les informations, les ressources et l'organisation) essentielles de modélisation permettant d'accéder au modèle en se focalisant sur certains aspects et en négligeant les autres (ceci permet de gérer la complexité du modèle).

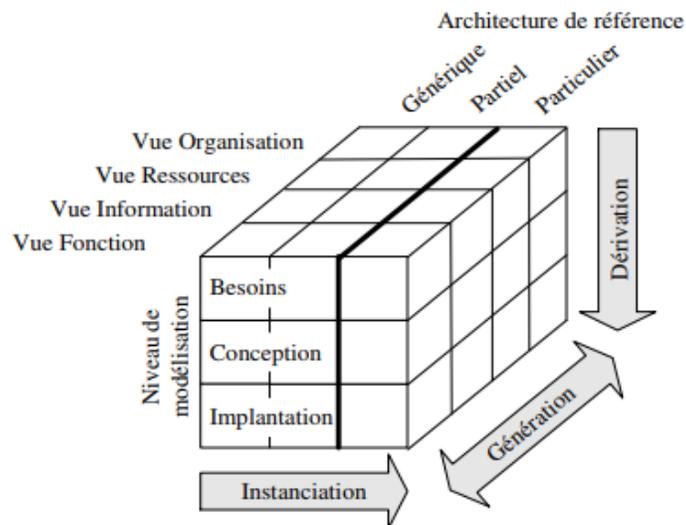


Figure 21. Cube CIMOSA(Amice, 1993)

Pour chaque vue, CIMOSA définit des éléments de modélisation, c'est-à-dire les bases génériques du langage :

- Les domaines, les événements, les processus et les activités décrivent les fonctionnalités et le comportement de l'entreprise, à différents niveaux de détail ;
- Les objets d'entreprise et la vue objet modélisent les informations au sujet de leurs relations et de leurs états, la façon dont ils sont gérés ;
- Les ressources, les ensembles d'aptitudes et les opérations fonctionnelles représentent les moyens à mettre en œuvre pour réaliser les fonctions de l'entreprise ;
- Les unités et cellules d'organisation structurent l'organisation de l'entreprise.

2.1.3.2 GRAI

La méthode GRAI a été développée au laboratoire GRAI, université de Bordeaux, au début des années 1980 (Breuil, 1984 ; Doumeings, 1984). La méthode GRAI a pour objectifs de traduire la réalité d'un système de gestion de production (à savoir le sous - système décisionnel et informationnel d'une entreprise) et de définir une structure de gestion appropriée à l'entreprise en intégrant les hypothèses de fonctionnement et la correction des incohérences et dysfonctionnement détectés. La méthode GRAI propose deux langages de modélisation : la Grille GRAI et les Réseaux GRAI, basés sur un modèle conceptuel appelé modèle GRAI (Doumeings et al., 1998 ; Vallespir et Doumeings, 2002).

❖ Grille GRAI

La grille GRAI (Figure 22) qui détermine l'expression d'une vision globale et macroscopique de la structure du système étudié. Elle situe les différents centres de décision les uns par rapport aux autres et les principaux liens décisionnels de l'organisation. La grille montre les décisions prises par les différentes fonctions de l'entreprise avec quel horizon et quelle période, ainsi que les transmissions d'informations (liaison informationnelle : flèche fine) ou de cadres de décision (liaison décisionnelle : flèche épaisse) entre ces centres.

❖ Réseaux GRAI

Les réseaux GRAI (Figure 23) sont basés sur le concept d'activité transformant un état en un autre état. Une activité est représentée par une flèche sur laquelle pointent des supports et des déclencheurs nécessaires à la réalisation de l'activité. Un réseau distingue les activités de décision (orientation verticale) des activités d'exécution (horizontale). Le réseau est ainsi construit avec ces différentes activités liées, cumulées, synchronisées (barre) pour montrer le fonctionnement des différents centres de décision de la grille GRAI.

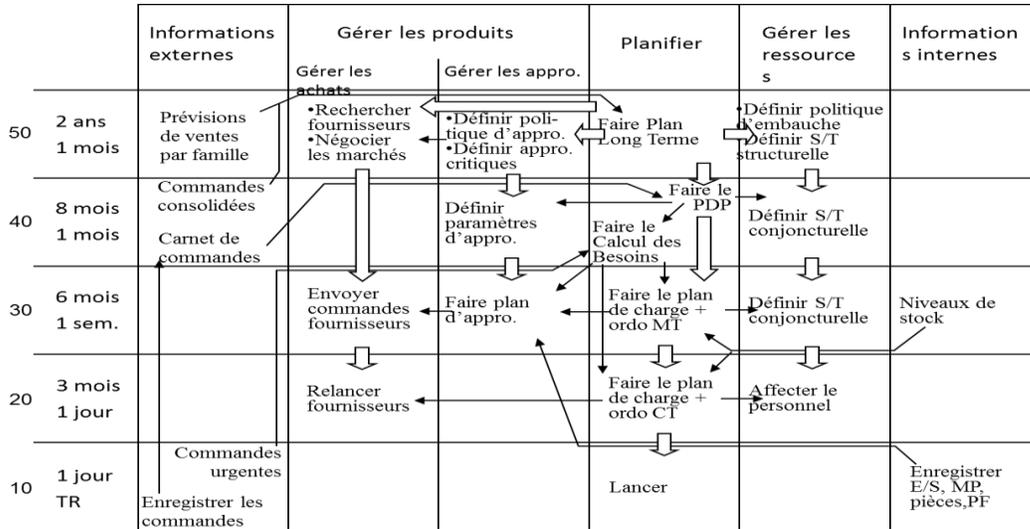


Figure 22. Exemple de Grille GRAI (Vallespir et Doumeingts, 2002)

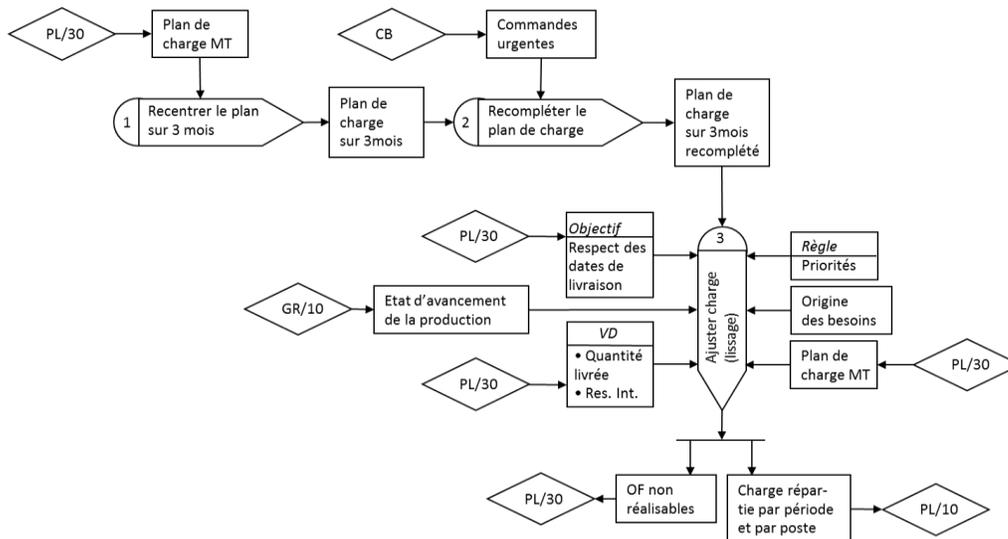


Figure 23. Exemple de Réseau GRAI (Vallespir et Doumeingts, 2002)

GIM (GRAI Integrated Method) a permis d'étendre la couverture de modélisation de la méthode GRAI en utilisant conjointement à la grille GRAI et aux réseaux GRAI, les diagrammes IDEF0 pour la vue fonctionnelle et le système physique ainsi que le modèle Entité / Relation pour la vue informationnelle (Chen et al., 1997; Doumeingts et al., 1995; Roboam et al., 1989)

2.1.3.3 PERA

PERA (*Purdue Enterprise Reference Architecture*) (Williams, 1989, 1994) est une méthodologie d'ingénierie des environnements industriels, développée à l'université de Purdue (Indiana, Etats Unis). C'est une architecture de référence centrée humaine. Elle est organisée autour de deux axes :

- Un modèle générique d'entreprise mettant en évidence le cycle de vie de l'entreprise et les objets qui sont manipulés : les moyens de production, les acteurs humains et l'organisation, le pilotage et les systèmes d'information ;
- Un ensemble de méthodes utilisées pendant le cycle de vie de l'entreprise dont le plan directeur qui est la méthode principale.

La Figure 24 précise l'architecture de PERA, organisée suivant le cycle de vie de toute entité industrielle. Les numéros indiquent les différentes étapes de la méthode.

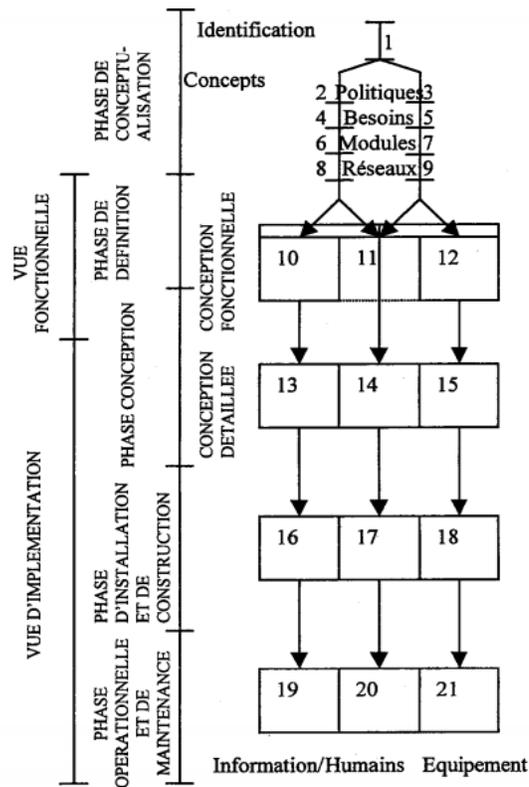


Figure 24. Structure de l'architecture PERA

L'originalité de PERA réside dans la prise en compte des aspects humains dans la méthodologie et de leur positionnement clair dans l'architecture, entre la partie commande (système d'information et de gestion) et la partie opérative (machines et équipements). PERA admet qu'il n'existe pas de séparation nette entre chaque partie et que certaines opérations peuvent être réalisées à la fois par l'humain et la machine (Abdmouleh, 2004).

2.1.3.4 ARIS

La méthode ARIS (The Architecture of Integrated Information Systems) a été mise sur le marché en 1992 (Scheer, 1993, 2002). Cette méthode présente les différentes phases à suivre pour décrire les besoins d'un système d'information. Elle donne une très grande importance aux processus métier de l'entreprise et permet de les décrire à différents niveaux d'abstraction. Ainsi, elle implique la nécessité de décrire chaque composant d'un système d'information du point de vue de sa nature, ses fonctionnalités et leur interaction.

La méthode ARIS permet de décrire les structures des différents processus métier de l'entreprise, d'établir les liens entre les différents acteurs participant dans l'accomplissement du processus et de représenter les interactions entre les processus. Outre l'organisation de l'entreprise en termes de ressources, ARIS traite les aspects fonctionnels et de contrôle. Elle repose sur une approche multi-niveaux et multi-vues différenciant un peu de CIMOSA (Darras, 2004) comme l'illustre la Figure 25.

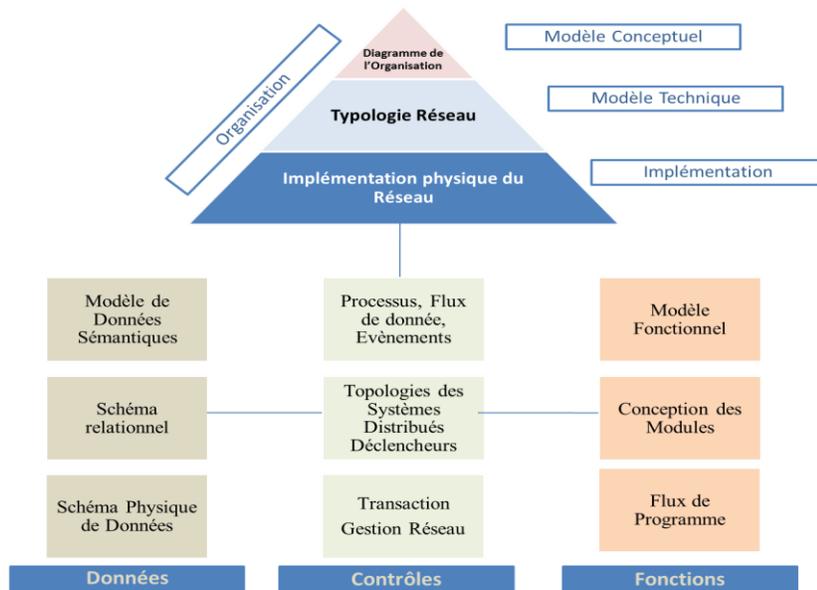


Figure 25. Architecture ARIS (Scheer, 1992)

Comme le montre la figure précédente, l'architecture ARIS est structurée selon quatre vues : une vue fonctionnelle, une vue de contrôle (elle correspond à l'aspect « organisation » de CIMOSA), une vue information et une vue organisation (elle correspond à l'aspect « ressources » de CIMOSA). Ces vues sont décomposées suivant les trois niveaux de modélisation de CIMOSA : le modèle conceptuel, le modèle technique et l'implémentation.

2.1.3.5 GERAM

Issue des travaux de la Task Force « Architectures for Integrated Manufacturing Activities and Enterprises » conjointe à l'IFAC et l'IFIP (Williams, 1994), GERAM (*Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology*) constitue « une méta – méthode » résultant de la synthèse des concepts de GIM, CIMOSA et PERA. Elle est définie à travers une approche qui fournit un cadre général pour décrire l'ensemble des éléments à prendre en compte dans le cadre de l'ingénierie d'entreprise.

Le composant principal de GERAM est GERA (*Generalised Enterprise Reference Architecture*). Il fournit un cadre d'analyse et de modélisation basé sur le concept de cycle de vie et identifie trois dimensions pour définir la portée et le contenu de la modélisation d'entreprise :

- **Dimension du cycle de vie** : définit les différentes étapes de définition de l'entreprise (identification, concept, spécification, conception et implémentation) ;
- **Dimension de généricité** : définit l'applicabilité de l'approche (générique, partiel et particulière) ;
- **Dimension de vue** : permet la visualisation contrôlée de vues spécifiques de l'entité entreprise.

L'ensemble des composants est représenté dans la Figure 26.

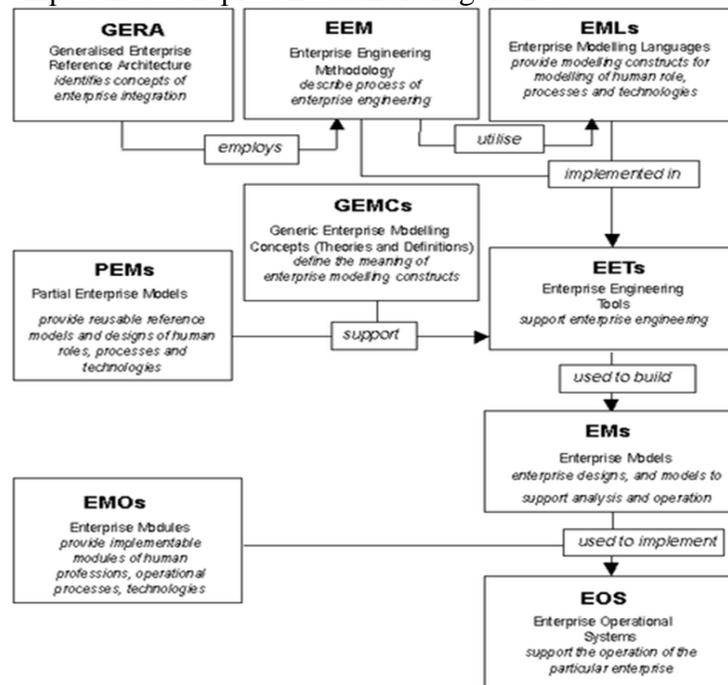


Figure 26. Structure tridimensionnelle de GERA

2.2 Approches de modélisation et simulation discrètes

Nous présentons dans cette partie les approches discrètes qui permettent de formaliser des modèles exécutables pour la simulation. En comparaison avec les concepts des méthodes de modélisation d'entreprise présentées précédemment, nous nous situons à un niveau de formalisation supérieur.

2.2.1 Théorie de la Modélisation et de la Simulation (M&S)

Une contribution majeure à la définition théorique de la M&S a été sans doute celle Bernard B. Zeigler avec son ouvrage intitulé « Theory of Modeling and Simulation » (Zeigler, 1976). Il a notamment situé les différentes approches entre elles. Ensuite, le principe fondamental du processus de M&S décrit par l'auteur repose sur la séparation du modèle et du simulateur. Selon lui, les entités de base du processus de M&S sont le système, le modèle et le simulateur (Figure 27).

Le simulateur est défini comme un système de calcul obéissant à des instructions pour exécuter un modèle qui sert à l'analyse du comportement. La relation de simulation permet de vérifier qu'en obéissant aux instructions définies dans le modèle de simulation, le simulateur reproduit le comportement spécifié. Le cadre expérimental spécifie les conditions d'observations du système et les objectifs de la simulation. Le système source (le système à modéliser) est une spécification qui peut être réel ou virtuel, il constitue la source de données observables. Ces données observables forment la base de données de comportement. La relation de modélisation permet ainsi d'établir la validité de l'expérience (Prat, 2017).

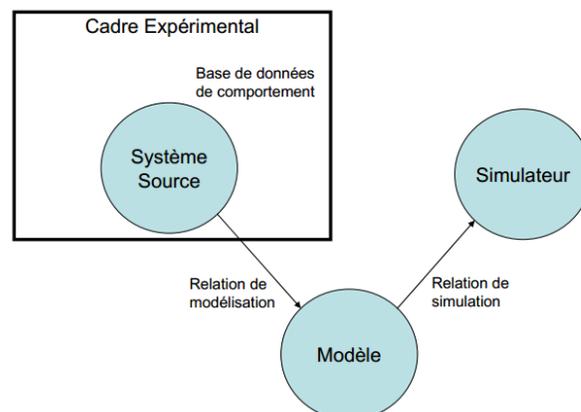


Figure 27. Processus de M&S selon B.P Zeigler

Zeigler a introduit l'approche de la modélisation et de la simulation en la décomposant selon deux aspects :

- **Les niveaux de spécification** sont les niveaux qui définissent le comportement du système et les mécanismes qui permettent

d'exprimer sa dynamique. La structuration de ces niveaux fait référence à celle proposée par George Klir (1985, Tableau 2) et qui définit des niveaux de connaissance des systèmes.

- **Les formalismes de spécification** représentent des systèmes et permettent de définir des classes de modèles. Un modèle est construit en respectant un paradigme. Un paradigme est un ensemble de concepts, de lois et de moyens visant à définir une collection de modèles.

❖ **Les niveaux de spécification d'un système (selon Klir)**

Le tableau suivant définit les niveaux de connaissance des systèmes selon Klir (1985) (tableau 2).

Tableau 2. Niveaux de spécification selon (Klir, 1985)

Niveau	Nom de spécification	Ce qui est connu à ce niveau
0	Cadre d'observation	Quelles variables mesurer et comment les observer en fonction de temps
1	Relation d'entrée sortie	Données indexées sur le temps. Pairs E/S
2	Fonction d'entrée sortie	Connaissance de l'état initial (une entrée produit une sortie)
3	Transition d'états	Comment les entrées affectent les états et comment les états affectent les sorties
4	Composants couplés	Comment les composants de niveaux inférieurs sont couplés

❖ **Les formalismes de spécification**

Les différents formalismes pour représenter un système résultent de la combinaison des classifications de l'espace, du temps et de l'espace. Ces formalismes (Giambiasi et al., 1995 ; Zacharewicz, 2006) sont rappelés dans la Figure 28.

- **Formalisme à équations différentielles** : Association d'une base de temps et de variables également continues, les équations définissent les changements d'états.
- **Formalisme à temps discret** : Les variables sont ici continues, l'évolution est définie par pas temporels discrets. Ce formalisme est également nommé équation aux différences.
- **Formalisme à événements discrets** : Association d'une base de temps continue et de changements d'états discrets. Les

changements de valeurs des variables, appelés « événements », se produisent à des instants nommés « date d'occurrence » d'événements, ces dates sont des nombres réels positifs. L'évolution de l'état du modèle survient suite au traitement d'un événement à un instant quelconque.

- **Formalisme à états discrets et temps discret** : Association d'une base de temps discrète et de variables d'état discrètes, également nommé machine à états finis synchrones.

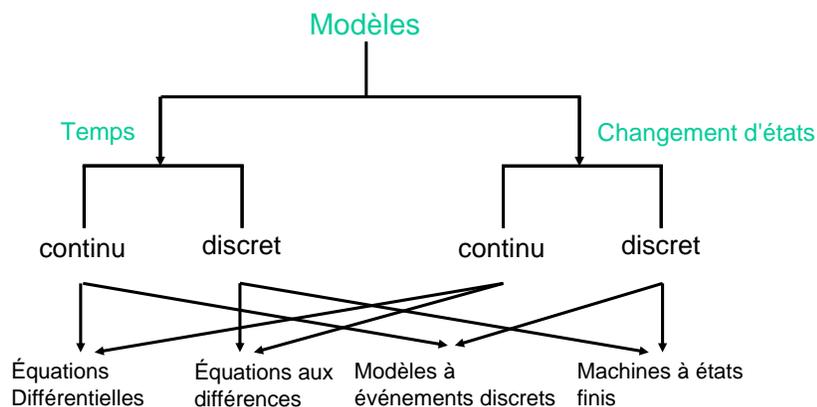


Figure 28. Différents types de modèles

2.2.1.1 Objectifs de la modélisation et simulation

La simulation repose sur l'exploitation d'un ensemble de modèles et méthodes permettant d'approcher, d'imiter, de simuler le comportement d'un système physique réel (Law et Kelton, 1982). Elle consiste à reproduire artificiellement le fonctionnement d'un système et constitue l'une des approches les plus importantes permettant d'exploiter le modèle de celui-ci. Elle permet notamment de valider ou d'invalider des hypothèses, d'obtenir des informations quantitatives, de valider certaines approximations, d'évaluer la sensibilité d'un modèle à certaines hypothèses ou à certains paramètres ou, tout simplement, d'explorer le comportement d'un système lorsque celui-ci est mal connu ou mal compris.

La simulation peut être utilisée dans la plupart des disciplines mais la façon dont elle est mise en œuvre varie selon le domaine. Son point fort réside dans sa dynamique, du fait que les scénarios proposés évoluent de façon réaliste en fonction des actions des participants. La simulation dédiée aux services capture les principales caractéristiques opérationnelles des processus de prestation de services et des comportements des consommateurs, des managers et des employés, elle fournit un retour rapide et réaliste sur l'état du système et

permet de répondre à différentes questions d'aide à la prise de décision par les gestionnaires.

D'après Oliva et Bean (2008), la simulation capture un ensemble de relations entre les différentes activités formant le processus dans le but d'améliorer la qualité d'un service. L'évaluation de la qualité du service à la personne peut améliorer l'analyse et la prise de décision et développer la capacité des gestionnaires à comprendre les conséquences de leurs choix, en remettant en question les différentes hypothèses possibles. Les objectifs finaux de la simulation sont décrits dans le Tableau 3.

Tableau 3. Finalités de la simulation selon (Treuil et al., 2008)

Validation, évaluation et vérification	La simulation a comme objectif de tester une hypothèse du modèle du système de référence, de le vérifier ou d'accréditer la théorie qui a servi à le construire
Communication, formation et visualisation	La simulation a comme objectif de « montrer » et de partager le modèle de la dynamique du système de référence
Compréhension, exploitation et explicitation	La simulation sert à comprendre le fonctionnement du système de référence, en considérant le modèle comme une réplique miniature qui pourra être étudiée plus facilement
Prévision, prédiction et anticipation	La simulation sert à prévoir les évolutions possibles du système de référence en fonction d'évolutions ou de perturbations spécifiques

2.2.1.2 Formalismes de modélisation et simulation discrets

Plusieurs formalismes coexistent pour réaliser des modèles discrets. Nous présentons ici les réseaux de Petri et DEVS qui nous paraissent les plus représentatifs. Nous présenterons ensuite les concepts liés aux agents.

a) Réseaux de Petri

Les Réseaux de Petri (RdP) constituent un langage de modélisation mathématique basés sur la théorie des ensembles. Il est possible de travailler sur une représentation semi-graphique pour le développement des systèmes à événements discrets (Recker et al., 2009), en particulier pour les systèmes où les tâches s'exécutent en parallèle et où leur concurrence est une caractéristique importante. Un réseau de Petri est composé de deux types de nœuds : les places et les transitions. Ces nœuds sont reliés par des arcs orientés. Une règle importante

de conception étant qu'on ne peut pas relier deux places entre elles ni deux transitions entre elles.

Les réseaux de Petri sont très connus et ont fait l'objet de milliers de publications dans le monde scientifique (Simon, 2014). Par exemple, Murata (1989) décrit les propriétés, analyse et applique les réseaux de Petri dans ses travaux et Jensen (1987) propose des études liées aux réseaux de Petri colorés. Le concept de Jeton présent dans la définition de ce langage permet à la fois d'assurer les fonctionnalités de vérification du modèle et de simulation. Dans le cas de systèmes physiques, les RdP permettent de décrire le système d'intérêt étape par étape, en le décomposant en des éléments plus simples, et des éléments constitutifs initiaux du système. Ils permettent en général une analyse détaillée et approfondie des propriétés du système et de sa performance.

b) DEVS

B. Zeigler définit une spécification formelle des modèles à événements discrets : DEVS (*Discrete Event System Specification*) (Zeigler, 1984). Ce formalisme a été introduit comme un formalisme abstrait universel indépendant de l'implantation. Il peut, par sa capacité d'abstraction, exprimer les systèmes définis dans des formalismes traditionnels comme les équations différentielles (temps continu) et aux différences (temps discret). Le concept de modèles atomiques et couplés (Zeigler, 1984) fournit un moyen de construire des modèles composés, en réutilisant des descriptions stockées en librairie. Les concepts de DEVS comportent :

- Une dynamique, décrivant la manière dont le système se comporte dans le temps ;
- Un état, décrivant le système à un instant donné ;
- Des ports, permettant de fournir des entrées et sorties aux modèles ;
- Des événements internes, planifiés par les modèles ;
- Des événements externes, indiquant qu'il s'est passé quelque chose d'intéressant lors de la dernière simulation de la dynamique.

❖ *Modèle atomique*

Le modèle atomique est un élément non décomposable. Le comportement de cet élément est régi par un modèle à événements discrets. Essentiellement, un modèle atomique possède une base de temps, des entrées, des états, des sorties et des fonctions pour déterminer les états suivants et les sorties à partir des états actuels et des entrées. Les événements d'entrées et sorties admissibles sont les seuils de trajectoires continues par morceaux. Les signaux d'entrée sont abstraits avec une trajectoire constante par morceau dont les seuils sont considérés comme

des événements discrets. Formellement, un modèle atomique M est spécifié comme suit :

$$\mathbf{AM} : \langle \mathbf{X} ; \mathbf{Y} ; \mathbf{S} ; \mathbf{ta} ; \delta_{\text{ext}} ; \delta_{\text{int}} ; \lambda \rangle$$

Avec :

\mathbf{X} : ensemble des valeurs d'entrée du modèle caractérisé par les informations suivantes port, temps, valeur. Le port dit sur qui l'événement arrive, le temps est la date d'occurrence de l'événement, il est vide pour des événements internes et la valeur symbolise les données de l'événement ;

- \mathbf{Y} : ensemble des valeurs des événements sortants ;
- \mathbf{S} : ensemble des états partiels ou séquentiels incluant les variables d'états ;
- $\mathbf{ta} : \mathbf{S} \rightarrow \tau/\infty$: fonction d'avancement du temps utilisée pour déterminer la durée de vie de l'état ;
- $\delta_{\text{ext}} : \mathbf{Q} \rightarrow \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{S}$: fonction de transition externe qui définit comment un message d'entrée \mathbf{X} peut changer l'état du système, ou $\mathbf{Q} = (s, te) \mid s \in \mathbf{S}, te \in (\mathbf{T} \cap [0, \mathbf{ta}(s)])$ est l'ensemble des états, et te est le temps écoulé depuis le dernier événement ;
- $\delta_{\text{int}} : \mathbf{S} \rightarrow \mathbf{S}$: fonction de transition interne qui définit comment un état du système change de façon interne quand le temps écoulé atteint la durée de vie de l'état ;
- $\lambda : \mathbf{S} \rightarrow \mathbf{Y}_t$: fonction de sortie qui définit comment un état du système génère des événements de sortie quand le temps écoulé atteint la durée de vie de l'état.

❖ *Modèle couplé*

Un modèle couplé est un modèle structurel. Il décrit une structure par interconnexion de modèles de base. Chaque modèle de base du modèle couplé interagit avec d'autres modèles pour produire le comportement global.

Un modèle couplé à événements discrets est défini par la structure suivante :

$$\mathbf{MC} = \langle \mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{D}, \{\mathbf{Md}/d \in \mathbf{D}\}, \mathbf{EIC}, \mathbf{EOC}, \mathbf{IC}, \mathbf{Select} \rangle$$

Avec :

- \mathbf{X} : ensemble des événements externes,
- \mathbf{Y} : ensemble des événements de sortie,
- \mathbf{D} : ensemble des noms de composants,
- \mathbf{Md} : modèle DEVS,
- \mathbf{EIC} : couplages d'entrées externes,

- **EOC** : couplages de sorties externes,
- **IC** : couplages internes,
- **Select** : définit une priorité entre événements simultanés destinés à des composants différents.

La Figure 29 présente un modèle couplé DEVS.

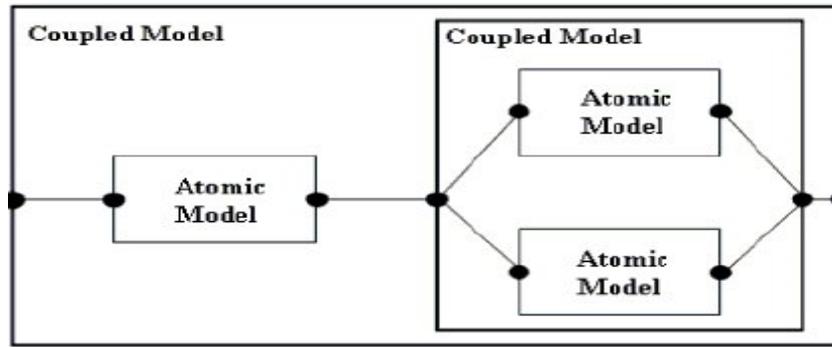


Figure 29. Modèle atomique/couplé DEVS

2.2.2 Modélisation et Simulation à base d'agent

2.2.2.1 Agent

Plusieurs définitions de la notion d'agent existent dans la littérature. Certains chercheurs considèrent tout type de composant indépendant (logiciel, modèle, individu, etc.) comme un agent possédant un comportement (Bonabeau, 2002). D'autres considèrent le fait que le comportement d'un composant indépendant doit être adaptatif pour que ce composant soit considéré comme un agent. Dans ce sens, le terme d'agent est réservé aux composants qui peuvent, dans un certain sens, modifier leur comportement en fonction de l'environnement. Casti (1997) affirme que les agents doivent contenir à la fois des règles de comportement de base et un ensemble de règles de niveau supérieur. Les règles de base fournissent des réponses à l'environnement, tandis que celles de niveau supérieur permettent de modifier les règles de base afin de permettre une bonne adaptation.

Jennings (2000) fournit une vue informatique de l'agent en mettant l'accent sur la caractéristique du comportement autonome. Selon lui, la caractéristique fondamentale d'un agent est sa capacité à prendre des décisions indépendantes, ce qui nécessite que les agents soient actifs. Dans le même cadre, Macal et North (2005) considèrent que les agents ont les caractéristiques suivantes :

- **Un agent est identifiable** en tant qu'individu discret possédant un ensemble de caractéristiques et de règles qui contrôlent et impactent son comportement et sa capacité de prise de décision.

- **Un agent** est situé dans un **environnement** dans le cadre duquel il a la possibilité d'interagir et de communiquer avec d'autres agents.
- **Un agent** a des **objectifs** à atteindre tout en respectant son comportement. Cela permet à un agent de comparer le résultat qu'il obtient à ses objectifs qu'il avait prédéfinis auparavant.
- **Un agent est autonome** du fait qu'il peut de comporter indépendamment dans son environnement.
- **Un agent est flexible**, grâce au fait qu'il possède une capacité d'apprentissage et d'adaptation de son comportement en fonction de ses expériences. Cela suppose que l'agent possède une mémoire.

2.2.2.2 Modélisation et Simulation basées agent

La modélisation à base d'agents est connue sous plusieurs noms. ABM (modélisation à base d'agents), ABS (système à base d'agents) et IBM (modélisation individu-centrée) sont tous des acronymes couramment utilisés. Dans cette partie, nous utiliserons le sigle « ABMS » pour « Agent-Based Modelling and Simulation ».

La modélisation et la simulation à base d'agents constitue une approche du domaine de la modélisation de systèmes complexes. Dans ce cadre, le modèle est composé d'agents autonomes en interaction. Les agents ont des comportements décrits par des règles simples, et interagissent souvent avec d'autres agents, qui à leur tour peuvent influencer le comportement individuel et général du système (Macal et North, 2005). ABMS offre un moyen de modéliser des systèmes sociaux composés d'agents qui interagissent et s'influencent mutuellement, tout en apprenant de leurs expériences et en adaptant leurs comportements pour rendre ces derniers plus adaptés à l'environnement. Ce paradigme est de plus en plus connu dans les disciplines scientifiques telles que l'écologie, l'économie, la biologie, l'agriculture, la sociologie, les sciences sociales et de nombreuses autres disciplines (sciences, technologies, ingénierie et mathématiques) (Roy et al., 2004). Il est utile pour simuler les systèmes complexes dynamiques et pour l'observation de leurs comportements émergents (Allan, 2010 ; Macal, 2016 ; Marvuglia et al., 2017).

Les systèmes complexes peuvent être simplement considérés comme un ensemble d'agents ou d'entités en interaction. Les agents peuvent représenter des organismes, des humains, des entreprises, des institutions et toute autre entité ayant l'intention d'atteindre un objectif (Abar et al., 2017 ; Roy et al., 2004). Les modèles à base d'agents sont particulièrement appliqués dans le cas de phénomènes complexes dans lesquels de nombreux agents ou entités actives interagissent pour établir des relations et pour résoudre les problèmes qui peuvent apparaître (North et Macal, 2007 ; Robertson, 2005).

Dans l'ABMS, on trouve une taxonomie dédiée aux systèmes multi-agents. Celle-ci a montré sa capacité d'aide à la compréhension de phénomènes sociétaux imprévisibles qui peuvent apparaître lors d'interactions entre agents (Edmonds et Meyer, 2015). La modélisation de tels systèmes peut aider les experts à, d'une part, identifier les processus responsables de l'émergence des phénomènes étudiés, d'autre part, à faciliter l'exploration des implications collectives provenant de dynamiques complexes (Squazzoni et al., 2014). Ainsi se dégage une nouvelle utilisation de la simulation multi-agents pour aider les experts à construire leurs théories. Combiner les expertises autour de l'activité humaine, c'est donc aussi permettre aux experts la construction de théories interdisciplinaires (Huraux, 2015).

2.2.3 Outils de Simulation

❖ CD++

CD ++ est un outil développé en C ++, qui permet la définition de modèles DEVS atomiques et Cell-DEVS (Wainer, 2002). Cet outil permet également la définition de modèles DEVS et Cell-DEVS couplés en utilisant un langage de spécification de haut niveau. Différentes versions sont proposées incluant des simulateurs temps réel, parallèles ou centralisés. Cet outil a été développé par G. Wainer et ses étudiants dans le cadre d'un partenariat des universités de Carleton (Canada), et Buenos Aires (Argentine).

❖ ADEVS

ADEVS (A Discrete Event System simulation) est le premier outil DEVS développé en C ++ par l'Université de l'Arizona. Il consiste en un simulateur ad-hoc. Les classes abstraites DEVS doivent être étendues par les utilisateurs pour définir des modèles atomiques et couplés, puis la simulation peut être lancée. La manipulation dans ADEVS nécessite de forte connaissance en programmation.

❖ JDEVS

JDEVS (JAVA DEVS) permet d'utiliser des modèles à événements discrets, dans un but général. Il peut être utilisé pour des représentations objet, la modélisation basée sur les composants, le développement de modèles de simulation connectés avec des systèmes collaboratifs. Il intègre un outil de modélisation et d'exécution visuel. Il a été développé par l'équipe de Jean-Baptiste Filippi de l'Université de la Corse à Corte (Filippi et Bisgambiglia, 2004).

❖ VLE

VLE (Virtual Laboratory Environment) est développé au sein du Laboratoire d'Informatique du Littoral (LIL) de l'Université du Littoral. VLE permet un gain majeur en temps pour le développement des modèles à moindre

erreur de codage (Quesnel et al. 2009). D'autres fonctionnalités font partie de cet environnement comme la définition des schémas d'expérimentation pour le chargement des données de la simulation, la sauvegarde des modèles en XML, etc. Il permet de spécifier des systèmes complexes en termes d'objets et d'agents réactifs, de simuler la dynamique du système et d'analyser les résultats des simulations. Les bibliothèques fournies permettent également le développement de programmes personnalisés.

2.2.4 Simulation de services

Les services informatisés sont massivement modélisés et simulés pour anticiper leur fonctionnement et leurs performances. Nous présentons ci dessous deux exemples de travaux dans ce domaine que nous considérons comme intéressants pour leur utilisation des approches sémantiques et pour l'usage du cloud computing.

Avec la prolifération des services Web et l'évolution vers le Web sémantique, est apparu l'intérêt d'automatiser diverses tâches de services Web. Des travaux comme ceux proposés par Narayanan et McIlraith (2002) ont permis de décrire, simuler, composer, tester et vérifier les compositions de services Web. En particulier, ces travaux se sont basés sur l'ontologie « *DAML-S DAML+OIL* » pour décrire les capacités des services Web. Avec cette sémantique, ils ont codé des descriptions de services dans un formalisme réseaux de Petri et ont fourni des procédures de décision pour la simulation, la vérification et la composition de services Web.

Le cloud computing est axé sur la fourniture d'infrastructures fiables, sécurisées, tolérantes aux pannes, durables et évolutives pour l'hébergement de services applicatifs basés sur Internet. Ces applications ont des exigences différentes en matière de composition, de configuration et de déploiement. Quantifier les performances de la politique de planification et d'allocation sur une infrastructure Cloud (matériel, logiciels, services) pour différents modèles d'application et de services sous des charges variables, les performances énergétiques (consommation d'énergie, dissipation de chaleur) et la taille du système est un problème extrêmement difficile à résoudre. Pour simplifier ce processus, les auteurs (Calheiros et al., 2009) ont proposé CloudSim : un nouveau cadre de simulation généralisé et extensible qui permet la modélisation, la simulation et l'expérimentation en continu des infrastructures informatiques et des services de gestion hébergés dans le Cloud. La structure de simulation présente de nouvelles fonctionnalités. Notamment, cette plate-forme autonome propose la modélisation de centres de données, de courtiers de services, la planification et des politiques d'allocation. La disponibilité du moteur de virtualisation facilite la création et la gestion de services virtualisés multiples, indépendants et co-hébergés sur un nœud de centre de données.

Il est à noter que ces travaux sont relatifs à des services informatiques ou informatisés. Il n'existe que peu de travaux de simulation de services reposant sur des systèmes physiques hormis ceux dédiés aux systèmes de services de santé présenté dans la section suivante.

3> **MODELISATION ET SIMULATION POUR LES SERVICES DE SANTE**

L'augmentation de l'utilisation de la modélisation et de la simulation dans le domaine de la recherche médicale et de la gestion des services de santé est complexe (Brenner et al., 2010). De fait, la M&S est capable d'aider à la résolution de problèmes complexes qui ne peuvent pas être résolus par les systèmes d'aide à la décision traditionnels.

Plusieurs chercheurs s'attachent à résoudre les problèmes d'organisation des systèmes de santé. En particulier, Augusto et Xie (2014) ont proposé une nouvelle méthodologie de modélisation appelée MedPRO. Elle est basée sur un méta-modèle avec trois vues différentes : vue du processus (parcours de soins des patients), vue des ressources (activités des ressources pertinentes) et vue de l'organisation (dépendance et organisation des ressources). Le méta-modèle résultant peut être instancié pour un système de santé spécifique et converti en un modèle exécutable pour la simulation au moyen d'une classe spéciale de réseaux de Petri appelée Health Petri Nets (HCPN). Les modèles HCPN servent également de base pour la planification à court terme des activités de soins de santé. En conséquence, la méthodologie MedPRO aboutit à un outil de prototypage rapide permettant une modélisation et une simulation simples et rigoureuses des systèmes de soins de santé. Une étude de cas est présentée pour montrer les avantages de la méthodologie MedPRO.

Les systèmes de distribution de médicaments en doses unitaires offrent des solutions optimales en termes de sécurité et d'efficacité des médicaments pour organiser le processus d'utilisation des médicaments dans les grands hôpitaux. Du fait que les petits hôpitaux doivent partager ces systèmes automatiques pour des raisons économiques, la structure de leur organisation logistique devient un sujet très sensible. Chen et al. (2018) ont proposé une méthode d'optimisation généralisée à plusieurs niveaux d'essais de particules (MLPSO) afin de concevoir un réseau de distribution de médicaments à dose unitaire partagée.

Structurellement, le problème étudié peut être considéré comme un type de problème de localisation-acheminement capacitif (CLRP) avec de nouvelles contraintes liées à une planification de production spécifique. Ce type de problème implique qu'une optimisation à plusieurs niveaux soit effectuée afin de

minimiser les coûts d'exploitation logistique. Ainsi les résultats obtenus montrent qu'avec l'algorithme proposé et une modélisation plus appropriée, un gain de temps en temps de calcul et de meilleures performances d'optimisation sont obtenus.

3.1 Modélisation et Simulation en santé orientée Flux

Cette approche est la plus répandue pour apporter un support à la décision dans le domaine de la gestion des patients pour leur prise en charge par les acteurs de santé. Plusieurs auteurs ont utilisé la M&S dans le secteur de santé, parmi lesquels on cite quelques travaux.

Huang (1998) s'est intéressé aux problèmes relatifs à la planification des lits dans les hôpitaux qui impactent les files d'attente. Selon lui, les problèmes de planification des lits sont trop complexes pour être résolus mathématiquement. Dans ces conditions, L'auteur se sert de la simulation afin de connaître le nombre de lits à affecter pour minimiser la demande de lits supplémentaires à prévoir pour le premier quart de l'année 1996 (période supposée la plus chargée). Huang a tout d'abord collecté des données du système d'information de l'administration médicale, puis il a élaboré un modèle de simulation après avoir consulté les différents types de personnels (gestionnaire, médecins, infirmiers, coordinateurs des lits). Enfin, il a effectué une analyse ayant pour but de faire comprendre les résultats de la simulation aux gestionnaires.

Un autre exemple sur l'utilisation de la simulation pour le dimensionnement des ressources nécessaires pour un centre de chirurgie ambulatoire au Chili a été élaboré par Ramis et al. (2001). Ces derniers ont modélisé le processus patient tout au long de son séjour dans le centre de chirurgie ambulatoire. Pour cela, ils ont recueilli des données historiques afin d'établir des lois statistiques (durée de séjour, durée d'admission, ...) réparties selon des classes de pathologies. Dans (Harper et Shahani, 2002), les auteurs ont présenté un modèle de simulation permettant d'évaluer les performances d'un système hospitalier. Le modèle simule le flux de patients à travers les différentes unités de soins caractérisées par un nombre de lits fixé par l'utilisateur (qui peut varier en fonction des demandes saisonnières). Les caractéristiques de chaque patient (longueur du séjour, date d'arrivée, temps d'attente, ...) sont définies par l'utilisateur en fonction de lois statistiques qui regroupe les patients en catégories. Ce modèle a permis d'avoir des informations sur le taux d'occupation des lits et le taux de refus de patient dans un service. Des années plus tard, Shukla et Kiridena (2016) ont proposé un modèle de simulation systématique et intégré pour améliorer les processus de santé. Shanahan et al. (2016) ont examiné de manière exhaustive la littérature sur les diverses approches de modélisation et de simulation adoptées pour l'évaluation économiques des interventions de santé dans le cadre des troubles addictifs.

D'autres approches visent à la recherche d'une alternative viable à la prise en charge traditionnelle des patients en milieu hospitalier. Ces travaux ont pour objectif de minimiser les coûts et améliorer la qualité de soins. Les auteurs (Germain et al., 2008) ont conçu une plateforme à partir de la méthode de modélisation ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implémentation), qui permet d'élaborer un modèle de connaissances (sous forme de réseaux de Petri) et un modèle d'action (SIMAN/ARENA) implantés à l'aide du module appelé OptQuest pour le dimensionnement des ressources. Cette plateforme a été mise en place dans un centre hospitalier à Port-au-Prince.

3.2 Modélisation centrée comportement patient

Les approches centrées patients en modélisation des parcours de soins sont encore peu développées par les chercheurs. Cependant il est admis que l'orchestration et le routage des patients dans la recherche pour la prise en charge de santé est une question cruciale, du fait qu'il est intéressant de mieux incorporer la perspective du point de vue du patient dans le sens où celui-ci peut agir en tant que décideur dans son parcours. En conséquence, des développeurs du domaine de la santé (domaine pharmaceutique, fournisseurs de services et groupes de patients) ont commencé dernièrement à mener des réflexions pour centrer le parcours des patients dans leurs préoccupations.

Dans le même contexte, Garfin et al. (2017) proposent un « Patient Pathway Analysis » (PPA) qui permet d'identifier les possibilités de coordination visant à renforcer l'accès aux soins pour toutes les formes de la maladie de la tuberculose et d'accélérer le diagnostic.

Dans un second exemple, les travaux de Parker et Myrick (2010) analysent de manière critique le rôle des scénarios cliniques utilisant la simulation de patients humains pour promouvoir des événements d'apprentissage transformateurs dans le cadre de la formation en sciences infirmières de premier cycle. Les auteurs se concentrent sur le rôle du débriefing dans la promotion de la réflexion critique et du discours social comme faisant partie intégrante du processus d'apprentissage et de la mise en œuvre de scénarios. Ils proposent par simulation aux étudiants des scénarios de gestion des dilemmes pour la transformation de la perspective en fonction du comportement patient.

Nous pouvons citer d'autres études dans le domaine visant à formaliser la relation patient-praticien. A titre d'exemple, Breen et al. (2009) analysent ce que les patients et les praticiens peuvent faire pour améliorer leurs communications interactives afin d'obtenir des soins optimaux centrés sur le patient (PC). L'un des objectifs de cette approche de pratique clinique est d'améliorer la satisfaction des patients et la conformité des résultats obtenus. Les parts de responsabilités des patients et des praticiens pour aller vers des soins centrés patients sont discutées dans cette étude. Des usages innovants des technologies de

l'information dans l'environnement de la santé en général et dans la prestation de soins en particulier sont explorés. Des méthodes pareilles servant pour l'encouragement des praticiens vis-à-vis des patients par l'auto-éducation est qui peut être effectuée pertinemment à l'aide de la simulation.

3.3 Validation et vérification des modèles de simulation

Les modèles de simulation sont de plus en plus utilisés pour résoudre des problèmes et faciliter la prise de décision. Les concepteurs de ces modèles et les décideurs utilisant les résultats obtenus sont tous intéressés par la validité de ces résultats. Les approches de vérification et validation des modèles répondent à cette préoccupation. La vérification de modèle est souvent définie comme « une méthodologie qui permet d'assurer que le modèle et sa mise en œuvre sont corrects ». Quant à la validation des modèles elle est généralement définie dans la littérature comme signifiant « la preuve qu'un modèle élaboré dans son domaine d'applicabilité possède une plage de précision satisfaisante compatible avec l'application envisagée de ce modèle » (Foures, 2015).

Des techniques de validation et de tests sont couramment rencontrées dans la littérature. Une combinaison de ces techniques est généralement utilisée par les concepteurs pour vérifier et valider les sous-modèles et le modèle global. Parmi les techniques les plus utilisés, on peut citer les suivantes (Sargent, 2009) :

- **Animation** : le comportement opérationnel du modèle est affiché graphiquement à mesure que celui-ci se déroule au cours du temps. Par exemple, les mouvements de pièces dans une usine au cours d'une simulation sont représentés graphiquement.
- **Comparaison avec d'autres modèles** : Différents résultats obtenus (par exemple, les sorties d'une activité) en lançant plusieurs simulations sont comparés avec d'autres modèles qui sont déjà valides.
- **Tests dégénérés** : L'évolution du comportement du modèle est testée par une sélection appropriée des valeurs liées aux paramètres d'entrée et des paramètres de configuration. Par exemple, le nombre moyen de personnes dans la file d'attente d'un seul serveur continue-t-il d'augmenter au fil du temps lorsque le taux d'arrivée change ?
- **Validité faciale** : Les rencontres avec les spécialistes du domaine permettent d'obtenir un retour sur la validité du modèle. Par exemple, la logique du modèle conceptuel est-elle correcte et les relations entrée-sortie du modèle sont-elles raisonnables pour eux ?
- **Validation des données historiques** : S'il existe des données historiques (par exemple, des données collectées spécifiquement

sur le système pour la construction des tests), une partie des données est utilisée pour construire le système et les données restantes sont utilisées pour déterminer (tester) si le modèle se comporte presque de la même façon pour chaque test. Ce test est souvent effectué en pilotant le modèle de simulation avec des échantillons de distributions (Balci et Sargent, 1984b).

4> CONCLUSION

Les approches présentées dans ce chapitre font tout d'abord état des résultats pour la caractérisation des services. Puis, la théorie de la modélisation et la simulation des services est étudiée : différentes approches et méthodes sont présentées et un focus sur les services de santé est proposé. Il existe de nombreuses études sur la caractérisation et la formalisation des services mais le niveau de maturité des résultats ne permet pas un niveau de structuration suffisant pour obtenir un modèle exécutable.

A travers les différents travaux présentés dans ce chapitre, nous allons analyser dans quelle mesure cet état de l'art établi permet de répondre aux questionnements scientifiques dans sa version de fin du chapitre 1.

- *Q2.2a : Face à l'expression d'un besoin d'un consommateur, comment choisit-on le fournisseur ?*

En effet, la littérature répond à la question de la sélection du fournisseur sur des caractéristiques statiques à savoir la capacité à répondre à un service. Cependant la notion de disponibilité dans le temps n'est pas ou peu traitée. De plus l'aspect spatial (ou géographique) concernant l'approximation géographiques des fournisseurs de services n'est pas élaboré. Pour ces raisons, la question Q2.2a est précisée comme suit :

- ❖ *Q2.2a: Face à l'expression d'un besoin d'un consommateur, quelles sont les critères de choix élaborés par le consommateur et qui permettent de répondre le mieux à son besoin ?*

La question est maintenue car la quantification est peu présente dans les travaux identifiés.

- *Q2.2b : Lorsque la réponse à l'expression d'un besoin d'un consommateur nécessite la combinaison de plusieurs services, comment les combine-t-on et comment orchestre-t-on l'intervention des fournisseurs correspondants ?*

La notion de combinaison séquentielle pour la composition des services est traitée d'un point de vue conceptuel. Après une étude de la littérature, il nous semble que la mise en place d'une architecture multi-agents peut être utile pour

assurer l'orchestration, la coordination et la composition des services. D'où la *Q2.2b* est reformulée comme suit :

- ❖ *Q2.2b : Dans quelle mesure une architecture multi-agents peut contrôler l'orchestration des services, assurer leurs coordinations et faire intervenir les fournisseurs adéquats dans le processus ?*
- *Q2.4a : Comment spécifier les processus de personnalisation / instanciation des parcours type pour obtenir le modèle d'un parcours personnalisé exprimant notamment les dates ou périodes où les ressources seront sollicitées ?*

Il paraîtrait intéressant d'avoir recours à un annuaire ou une base de parcours de services type qui pourraient être instanciés selon le besoin exprimé, ceci n'a pas été opérationnalisé dans la littérature sur les services aux individus. De plus, les ressources appelées pendant l'exécution des parcours devraient être soumises à des contraintes temporelles pour décrire un comportement réaliste. Enfin, la notion d'agenda pourrait être exploitée pour gérer la disponibilité des ressources. En ce sens la *Q2.4a* peut être gardée telle qu'elle est.

- *Q2.4b : Comment assurer l'interopérabilité du modèle global du parcours et des modèles locaux de comportement des agents sollicités ?*

Les niveaux de modélisation globale et locale ne sont pas unifiés. La prise en considération du point de vue consommateur local n'est que peu exploitée dans les modèles globaux. D'où la nécessité d'assurer l'interopérabilité entre ces modèles. En se basant sur les concepts introduits dans la littérature concernant l'approche de l'interopérabilité, nous allons essayer de l'appliquer dans notre contribution afin de répondre au mieux à cette question.

- *Q2.6 : Quelles sont les performances intéressantes d'un point de vue individuel ? Ces performances sont-elles mesurables sur la base de l'exécution d'un modèle dynamique (simulation) ?*

La notion de performance dans la littérature est souvent liée au concept de qualité globale. Cependant, en fonction des profils des individus, les critères de choix diffèrent d'un individu à l'autre. Ainsi la mesure de performance doit être agrégée depuis le niveau des individus jusqu'au niveau global d'un territoire. Dans cette question, la simulation nous paraît efficace pour permettre la mesure de performance d'un système de services. Cependant il existe peu de modèles et simulations de services aux individus étudiés dans un cadre général. Donc la question *Q2.6* est maintenue.

En synthèse, d'après ce que nous avons présenté dans ce chapitre nous remarquons que peu de travaux modélisent et simulent des systèmes de fourniture de services physiques, à la fois en considérant le point de vue flux et celui de

comportement de l'individu en tant qu'acteur de son parcours. S'il existe des approches combinant les deux, les comportements des acteurs sont souvent réduits au minimum et la configuration ou reconfiguration du comportement du patient demande des compétences particulières

CHAPITRE 3 : CONTRIBUTION GENERALE

Afin d'essayer de prendre en considération les limitations et répondre aux questions élaborées à la fin du chapitre précédent. Notre contribution s'est focalisée sur une approche à base d'agents pour la modélisation et la simulation des services. Dans ce cadre, nous allons élaborer des travaux sur la modélisation des parcours type consommateur d'un côté et d'un autre côté du comportement fin des acteurs participants à la production du service. Ces modèles devront être exécutables à la fin pour la simulation.

D'autre part, il apparaît à l'étude des questions scientifiques présentées dans le chapitre 2, qu'aucune approche n'est capable de répondre complètement la question de la modélisation et simulation de services aux individus avec une approche multi agents dont le comportement des agents pourrait être en partie préétabli par un modèle de processus. Dans ce chapitre, nous allons donc essayer de trouver des réponses aux questions élaborées dans le chapitre précédent.

1> ANALYSE DE LA COMPOSITION ET LA DYNAMIQUE D'UN SYSTEME DE SERVICE

1.1 Structure des entités d'un système de service

La Structure des Entités d'un Système (SES) (Zeigler et Sarjoughian, 2017) quelconque permet de modéliser le système à travers les éléments qui le composent et leurs relations de manière hiérarchique. Il s'agit d'un schéma de représentation qui caractérise la structure d'une famille de sous-modèles en termes de décomposition, de taxonomie de composants et de couplage des spécifications.

La Figure 30 donne un aperçu général sur les entités et des relations impliquées dans une telle structure.

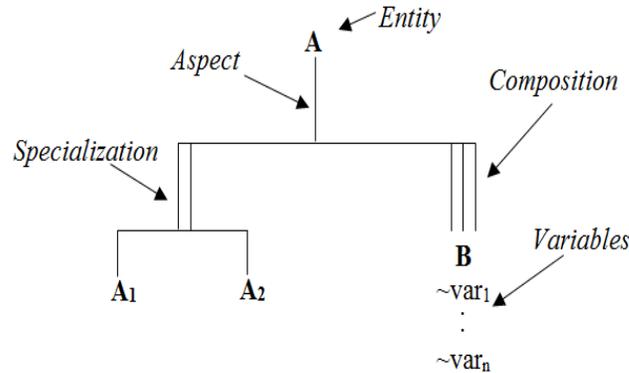


Figure 30. Eléments de base de SES (Zeigler et Sarjoughian, 2017)

Selon Zeigler et Sarjoughian (2017), les entités représentent les objets qui forment le système dans sa globalité. Elles peuvent être caractérisées par des variables dont les valeurs appartiennent à un intervalle. L'*aspect* exprime la manière de décomposer l'objet en des parties plus détaillées (ex : objet parent et objets enfants). Une spécialisation représente une sous-catégorie ou une sous-famille de représentations spécifiques du système et finalement, on a la composition qui permet de représenter plusieurs aspects possibles.

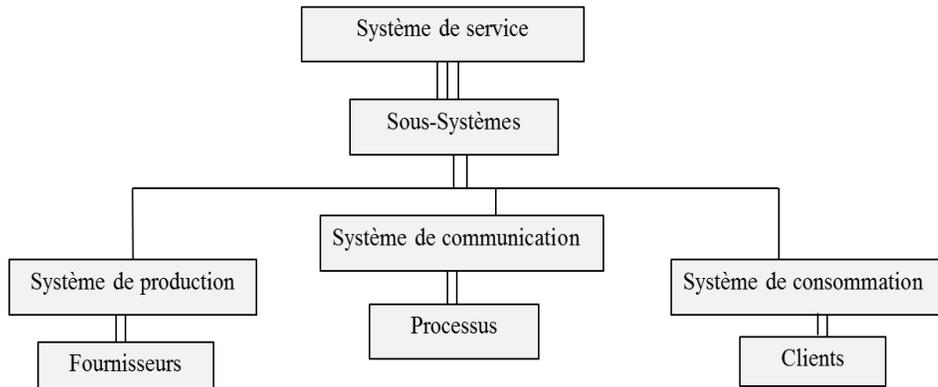


Figure 31. La structure de base des entités d'un système de service

En se basant sur la SES, on propose une représentation des principaux composants d'un système de services. Pour cela, on décompose le système de service comme suit :

- **Système de consommation de services** : il est formé par des consommateurs de services, qui expriment leurs besoins, identifient les ressources nécessaires et choisissent celles qui sont les plus convenables en fonction des critères qu'ils pré-définissent initialement.
- **Système de production de service** : il regroupe l'ensemble des éléments matériels et immatériels qui sont nécessaires à la production de services. Un système de production de services

utilise des fournisseurs qui essaient de répondre aux besoins des consommateurs en respectant des contraintes liées au prix, à la qualité et au délai.

- **Système d'interactions** : la production d'un service porte sur des relations, des interactions et des échanges entre les acteurs des systèmes de production et de consommation.

La représentation proposée dans cette partie (Figure 31) est une structuration de base qui peut évoluer et être instanciée en fonction de la nature du système étudié. Ainsi les caractéristiques du couple consommateur/fournisseur reprennent les concepts présentés dans le chapitre 1 et permettent d'analyser les éléments suivants : Les éléments responsables du déclenchement d'un service et les évènements échangés qui découlent de sa réalisation.

1.2 Analyse des interactions Consommateur/Fournisseur de services

1.2.1 Définition du service

D'une manière générale, un service peut être décrit comme un contrat élaboré entre les entités fournissant le service et les entités le consommant. Un système de production de services utilise en général un ensemble de sous-services dont les fournisseurs peuvent varier en fonction du besoin exprimé. De même, un fournisseur met en place des objets de service qui permettent à un consommateur d'utiliser leurs fonctionnalités. Le point de départ de la notion de service que nous retenons repose sur une relation bidirectionnelle entre deux acteurs qui sont le demandeur de services et le fournisseur de ce service (Figure 32). Ces acteurs possèdent des comportements qui peuvent impactés positivement ou négativement la réalisation du service.

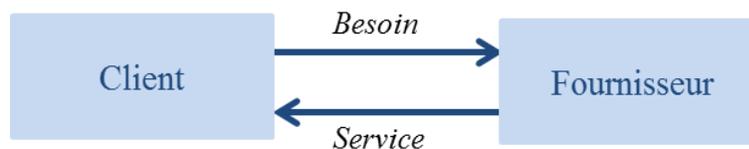


Figure 32. Relation bidirectionnelle C/F

1.2.2 Comportement Consommateur/Fournisseur

Afin de détailler la relation définie dans la Figure 32, nous proposons d'analyser dans un premier temps le comportement du fournisseur et du consommateur. En effet, plusieurs fournisseurs peuvent exister pour le même service, dans ce cadre, le consommateur doit avoir la capacité de choisir le ou les fournisseurs dont il aura besoin. De même le fournisseur doit être capable d'accepter ou de refuser la demande reçue. En général, le comportement global d'un consommateur de services est décrit comme suit :

1. le consommateur identifie son besoin et cible les fournisseurs de services qui ont le pouvoir de répondre à ce besoin ;
2. il formule les critères d'évaluation des fournisseurs ;
3. il définit ces critères par ordre de priorité et applique des règles de choix ;
4. le consommateur effectue son choix final à l'égard du fournisseur.

Dans notre étude, nous considérons que le fournisseur possède la capacité d'analyser la demande du consommateur et de définir la possibilité de la prendre en charge ou de proposer une alternative qui peut satisfaire le consommateur.

1.2.2.1 Concept d'annuaire

Le concept d'annuaire de service (Figure 33) est un élément important au niveau de la mise à disposition des services. En effet, le fournisseur enregistre les informations relatives aux services offerts dans « l'annuaire de service » ainsi que des informations relatives à sa capacité de répondre aux besoins (sa disponibilité, le temps nécessaire pour rendre le service, le coût, etc.). Quant au consommateur, il peut consulter l'annuaire et effectuer sa recherche pour trouver le fournisseur ou les fournisseurs convenables, une fois les informations sont collectées, le consommateur effectue son choix final et le processus de production de service est établi.

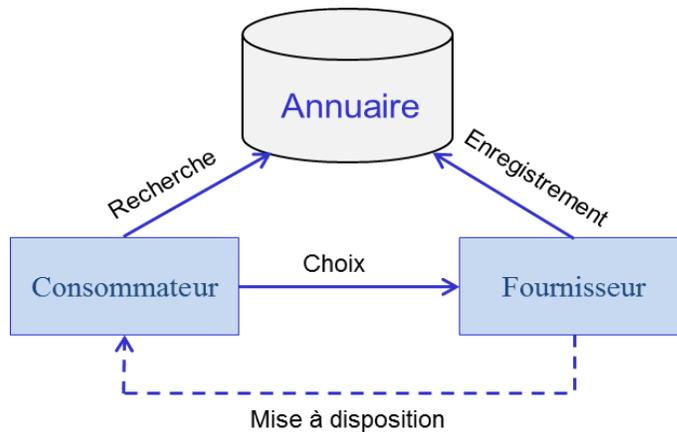


Figure 33. Concept d'annuaire de services

Les relations entre les fournisseurs et les consommateurs peuvent prendre plusieurs formes. Aussi, un format-type d'interaction ou d'échange permet de publier ou de découvrir un service auprès de l'annuaire. D'autre part, un service complexe peut nécessiter la mise en œuvre de plusieurs services élémentaires qui se traduit par un enchaînement d'interactions décrit sous forme de processus.

Les étapes de mise en œuvre de services sont présentées ci-dessous et décrites dans la Figure 34 :

- **Les fournisseurs** déclarent les services qu'ils sont capables d'offrir dans un « annuaire de services ». L'élément essentiel de cette déclaration est constitué de la nature des services proposés. Pour que cette déclaration puisse être comparée et mise en relation avec l'expression des besoins des consommateurs, elle doit être réalisée conformément à un standard exprimé dans un « référentiel de services ».
- **Le consommateur** décrit son besoin conformément au standard exprimé dans le « référentiel de services » et effectue une recherche dans l'annuaire de services qui contient des informations enregistrées par le fournisseur. Il reçoit en retour des informations sur les fournisseurs susceptibles de répondre à son besoin puis se base sur les règles de choix pour choisir parmi ces derniers.
- **Un protocole d'interaction** (processus) permet de définir le rôle de chaque acteur ainsi que les différentes tâches qu'il doit exécuter.

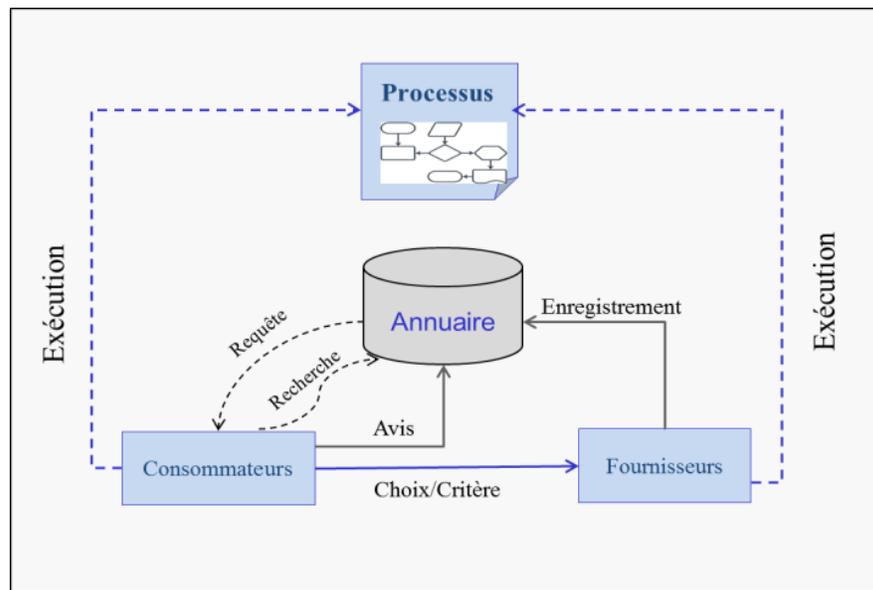


Figure 34. Description du comportement global

1.2.2.2 Critères de choix

Il peut exister de multiples critères de choix. Cependant, d'après Deliot-Lefèvre (2006), il apparaît que le délai et le coût sont les critères les plus utilisés pour évaluer les services. De plus, internet et les réseaux sociaux ont fait émerger un critère lié à la réputation qui vient compléter les précédents. Dans ce cadre, nous proposons de sélectionner des fournisseurs de services pertinents à partir d'un ensemble de critères comme suit.

a) Critères d'accessibilité

Des études font récemment état de la dimension spatiale avec la prise en considération d'un territoire. Il apparaît dans ces études des disparités d'offres et de demandes avec par exemple des zones mal desservies par les services (problème de désertification). Au regard de cela, nous avons retenu deux critères d'accessibilité : la distance et la disponibilité.

❖ Distance

L'accessibilité géographique aux services est une question centrale permettant d'assurer l'accès aux services pour tous et sur tout le territoire. Pourtant la notion de distance est peu traitée dans la littérature. Par contre, elle fait partie des défis majeurs visant à promouvoir des pratiques de mobilité plus durables pour les personnes et les biens en favorisant la proximité et en veillant à l'accès aux services et à la mobilité pour tous sur l'ensemble territoire. Dans notre étude, nous affectons à chaque acteur une position géographique, ces positions nous permettront de calculer la distance entre les consommateurs/fournisseurs et de définir les services accessibles dans un rayon spécifique.

❖ Disponibilité

La disponibilité est définie comme l'aptitude d'un fournisseur à être en état de répondre à un besoin exprimé dans des conditions temporelles données : à un instant ou pendant un intervalle de temps spécifiés.

Dans ce cadre, on précise dans notre étude que le fournisseur et le consommateur ont des calendriers personnalisés qui définissent leurs disponibilités. En effet, le consommateur peut demander un service pendant une période, demande qui ne peut pas être satisfaite si le calendrier du fournisseur est déjà saturé lors de cette période.

b) Critère de coût

Le critère de coût est un critère quantitatif largement utilisé pour évaluer les services. En effet, le consommateur est prêt à une dépense pour un service donné dans des contraintes de seuils définies par sa capacité budgétaire. Dans notre étude, nous définissons le coût comme un élément qui repose sur l'ensemble des charges et frais exigés par le ou les fournisseurs pour rendre un service.

c) Critère de réputation

Le critère de réputation est qualifié à travers un ensemble d'éléments d'appréciation concernant un service. En général, il est caractérisé par un avis représenté par un commentaire et une note. Dans notre cas, nous supposons que l'avis possède une valeur sur une échelle de 1 à 5. Cette valeur est renseignée par

le consommateur dans l'annuaire pour alimenter les informations sur le service et son fournisseur.

1.2.3 Règles de choix

1.2.3.1 Règle de choix selon un seul critère

Le comportement dynamique du consommateur pour la prise de décision est défini par des règles de choix élaborées à partir des critères mentionnés auparavant. Ces règles sont exécutées par ordre de priorité et diffèrent d'un consommateur à l'autre. Dans ce contexte, nous définissons quatre règles de choix possibles :

- **Règle 1** : le consommateur choisit le fournisseur le plus proche,
- **Règle 2** : le consommateur choisit le fournisseur le plus rapidement disponible,
- **Règle 3** : le consommateur choisit le fournisseur le plus réputé,
- **Règle 4** : le consommateur choisit le fournisseur le moins cher,

Dans le cas du non satisfaction de la règle prioritaire, le consommateur peut choisir une autre règle ou bien passer à la règle hybride. Ainsi, si plusieurs fournisseurs répondent de la même manière aux mêmes règles, le choix final peut se reposer sur un tirage aléatoire.

1.2.3.2 Règle Hybride : choix en fonctions de plusieurs critères

Dans certains cas, le choix de fournisseurs exige la considération de deux ou plusieurs critères, d'où l'élaboration d'une règle hybride qui permet d'établir le meilleur compromis entre ces critères. Dans le cas d'un choix basé sur une règle hybride, on peut avoir une deux possibilités. La première correspond à un choix basé sur le minimum (ou maximum) de la moyenne pondérée de plusieurs critères. La deuxième s'appuie sur des seuils à déterminer selon le cas d'étude.

La décrit le processus simplifié dans le cas où le consommateur applique un choix multicritères avec seuils. On note que l'étape « Fin » peut désigner soit la fin du processus, soit le changement de la priorité ou de seuil, ces derniers permettent le déclenchement du processus à nouveau.

1.2.4 Approche d'évaluation des services basée sur la population

Il existe différentes approches d'évaluation des services qui sont toutes dépendantes des objectifs et des besoins des consommateurs. L'évaluation de services repose donc sur une réflexion profonde sur la gestion de la relation consommateur/fournisseur qui change selon le besoin exprimé.

Les différentes approches existantes visent soit la caractérisation de l'existant, soit la recherche d'un optimum dans l'objectif d'apporter un soutien

aux experts dans l'aide à la décision. Dans notre étude, nous proposons une approche basée sur la sélection des fournisseurs ayant le plus fort potentiel pour répondre aux besoins du consommateur de service de manière cohérente. Une telle approche est centrée-individus du fait qu'elle permet d'évaluer le service en utilisant des critères de sélection multiples et en tenant compte du comportement dynamique des acteurs.

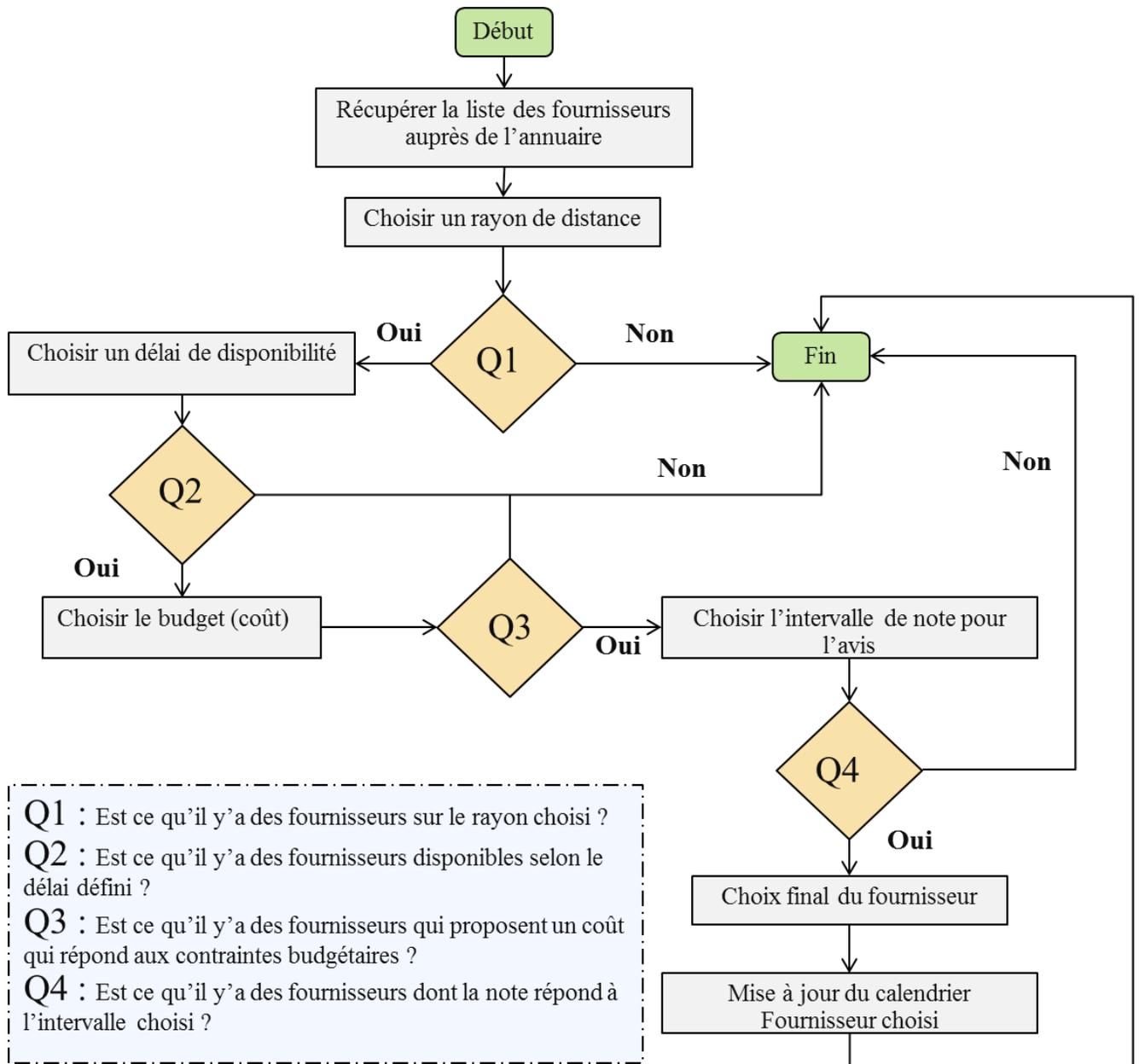


Figure 35. Processus simplifié selon la règle de choix hybride

Dans le même cadre, nous considérons une population de fournisseurs de services et une population de consommateurs distribuées sur un territoire (Figure

36). De manière générale, les caractéristiques des populations prises en compte diffèrent selon le cas d'étude. Ces caractéristiques sont des données que nous collectons à partir des sites web open data comme celui de *L'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques* (INSEE), des pages jaunes ou des bases de données mise à disposition pour la recherche.

Dans le cas de notre étude, nous nous sommes intéressés à l'âge, au sexe et à la catégorie socioprofessionnelle pour la population globale. Ainsi, par la suite, nous avons eu besoin de connaître les positions géographiques des individus. Toutefois, dans le cas classique où les fournisseurs sont en nombre moins important que les consommateurs, nous avons opté pour une position géographique exacte pour les fournisseurs et une position aléatoire pour les consommateurs (qui peut être cantonné à une vraie valeur à une échelle territoriale à décider).

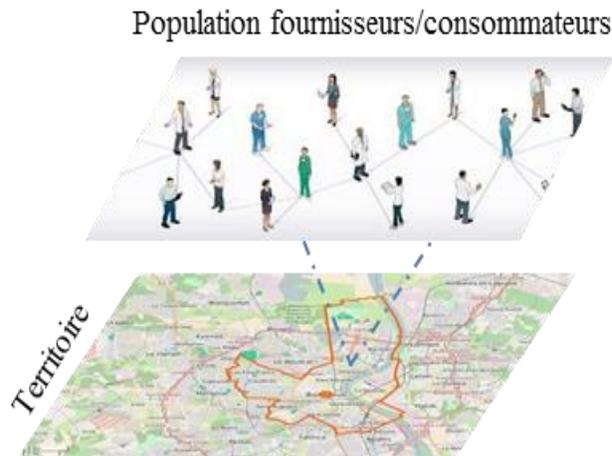


Figure 36. Population fournisseurs/consommateurs

2>

INTEGRATION DE BPMN DANS UN SYSTEME MULTI-AGENTS

L'objectif principal de notre contribution consiste à proposer des modèles pour cartographier les services, dans le but de décrire le comportement des agents avec un langage de haut niveau facilement utilisable par des acteurs non spécialistes des langages de modélisation et de simulation. Pour cela, nous allons proposer une approche qui permet le passage de la modélisation des processus vers les langages orientés agents pour la simulation. Cela correspond à un objectif d'interopérabilité verticale entre les langage métiers et les langages exécutables comme décrit dans (Zacharewicz et al., 2017).

2.1 Cartographie du processus de production de services

La modélisation des processus a pour objectif de décrire l'enchaînement des activités et l'appel aux ressources nécessaires. Dans certains cas complexes et qui nécessitent plusieurs niveaux d'interaction, la description des processus ne suffit pas à elle seule. Pour dépasser ce problème, nous nous intéressons dans notre cas d'étude à deux types de modèles :

- Des modèles de flux a priori statiques décrivant le processus de production de service,
- Des modèles à base d'agents qui représentent le comportement dynamique des participants dans le processus.

2.1.1 Parcours Consommateurs

Dans le cadre de notre étude, nous proposons la notion de « parcours consommateur ». Nous désignons par ce terme une description du processus de prise en charge d'un consommateur par un ou plusieurs fournisseurs. Ce parcours représente une approche qui positionne le consommateur au cœur du processus de production de services et qui le conduit ainsi à s'impliquer dans l'évaluation des fournisseurs.

Notre proposition consiste dans un premier temps à utiliser les modèles de processus pour la description d'un modèle de parcours qui sera instancié pour un ou plusieurs agents. Ceci permet de faciliter la modélisation des comportements des agents à partir de routines ou de descriptions prescrites par un standard. Ces modèles sont plus facilement compréhensibles, modifiables et réutilisables.

2.1.2 Langage de modélisation des processus retenu

Afin de représenter toutes les situations liées à la complexité des parcours consommateurs, il est indispensable de les modéliser d'une manière lisible et compréhensible et donc de se tourner vers un langage dédié à la modélisation des processus. Pour cela, nous adoptons le langage BPMN (*Business Process Model and Notation*) afin de modéliser les interactions entre les acteurs tout en assurant la collaboration, la coordination et l'orchestration des processus inter-organisationnels.

Le choix du BPMN se justifie par le fait que ce langage permet de définir les acteurs dans un processus donné en leur affectant des rôles spécifiques. D'autre part, c'est un langage standardisé utile à toutes les parties prenantes du processus, car il peut représenter les flux d'activités et leurs interactions entre les différents types d'entités existants dans des scénarios métiers accessibles et compréhensibles par tous.

Afin d'expliquer notre méthodologie, nous proposons comme exemple un modèle BPMN (2.0) simplifié pour illustrer les étapes de notre démarche. Le

modèle de la Figure 37 présente trois couloirs (lane) : « Consommateur », « Fournisseur1 » et « Fournisseur 2 ». Dans chaque couloir, nous distinguons un enchainement de tâches à exécuter et des messages à échanger. Le modèle présente une description du comportement des participants au sein d'un processus collaboratif et ce, en se focalisant sur les interactions coordonnées entre les participants, dans cet exemple nous avons le « Fournisseur 2 » qui peut être consommateur et fournisseur en même temps.

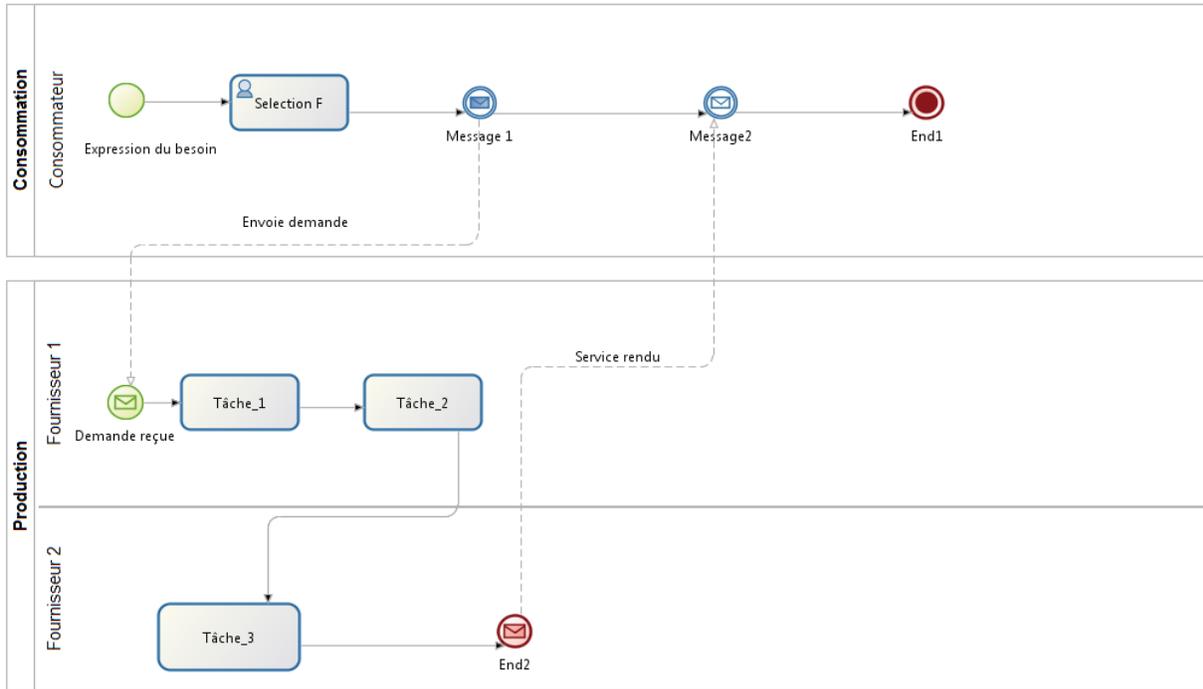


Figure 37. Exemple BPMN simplifié d'un parcours consommateur

2.2 Apport des systèmes multi-agents basés DEVS

L'intérêt des systèmes multi-agents vient de leur flexibilité et de leur adaptabilité pour représenter les systèmes complexes. Ainsi, plusieurs auteurs ont proposé d'utiliser des architectures multi-agents dans le domaine de la gestion des entreprises, ces architectures s'avèrent être efficaces pour simuler et reproduire les comportements collaboratifs et adaptatifs tels qu'ils apparaissent dans le monde réel.

Dans ce contexte, nous proposons une architecture multi-agents pour évaluer le service sur un territoire d'étude. Notre approche conduit à trois types d'agents principaux, à savoir « agents fournisseurs », « agents consommateurs » et « agents parcours » dont les comportements sont décrits à travers le formalisme DEVS. En comparaison de ce formalisme avec d'autres formalismes comme les réseaux de Petri, DEVS possède les capacités des réseaux de Petri tout en apportant de nouvelles possibilités (Zeigler et al., 2000) :

- Dans les réseaux de Petri basiques, la notion de temps n'est pas considérée, en effet, le temps n'est pas une variable des réseaux de Petri classiques.
- Les modèles des réseaux de Petri basiques ne sont pas modulaires. Contrairement aux modèles DEVS, le formalisme de base des réseaux de Petri ne permet pas une composition hiérarchique des modèles pour la définition de modèles composites.
- Les réseaux de Petri basiques ne sont pas adaptés à l'implantation. En effet, il n'est décrit aucune structure de simulation des réseaux de Petri contrairement au formalisme DEVS.

En se référant aux concepts présentés, nous considérons que chaque agent est caractérisé par :

- un ensemble d'actions internes pour modifier ses propriétés,
- un ensemble d'interactions lui permettant de communiquer avec les autres agents.

2.2.1 Méta-Modèle DEVS

Il n'existe pas de méta-modèle unique approuvé unanimement pour le formalisme DEVS. Cependant, plusieurs travaux ont proposé des méta-modèles assez proches, tous conformes à la spécification DEVS (Bazoun et al., 2014 ; Garredu et al., 2012 ; Zeigler et al., 2000). La Figure 38 représente le méta-modèle générique issu de la synthèse de ces travaux. Il intègre tous les éléments indispensables de DEVS. En particulier, ce dernier contient deux types de modèles : les modèles atomiques et les modèles couplés.

Chaque modèle a une liste de « *InputPorts* » et « *OutputPorts* ». On rappelle qu'un modèle atomique a quatre fonctions principales : fonction de transition interne, de transition externe, de sortie et fonction d'avancement dans le temps.

Un modèle couplé est une décomposition de modèles DEVS (atomiques ou couplés). En outre, il existe trois types de couplage entre les ports :

- **Couplage d'entrée externe** : concerne les connexions entre les ports d'entrée du modèle couplé et ses composants internes,
- **Couplage de sortie externe** : définit les connexions entre les composants internes et les ports de sortie du modèle couplé,
- **Couplage interne** : représente les connexions entre les composants internes.

Dans les travaux présentés, chaque agent est décrit par un modèle DEVS atomique, le modèle de simulation est un modèle DEVS couplé. Le couplage

entre les modèles doit être géré dynamiquement au cours de la simulation, d'où la notion d'adaptation dynamique lors de la simulation.

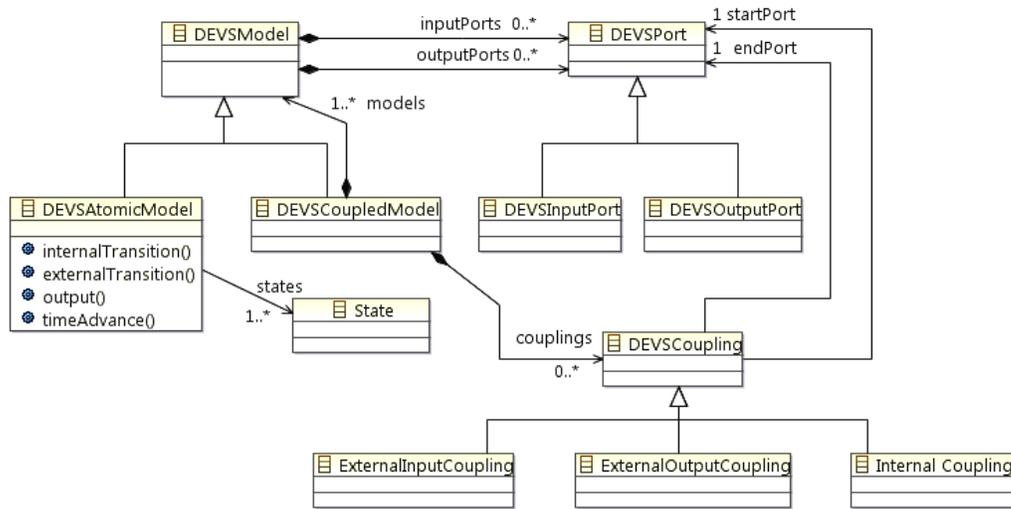


Figure 38. Méta modèle simplifié DEVS

2.2.2 Adaptation dynamique lors de la simulation

Il existe des cas où il peut être nécessaire de modifier dynamiquement un multi-modèle lors de la simulation, par exemple, si les modèles doivent être réutilisables, ou lorsque des conditions émergentes favorisent l'utilisation d'un autre modèle que celui utilisé actuellement. Dans ce cas il est nécessaire de surveiller lors de la simulation, et de sélectionner le modèle approprié et de changer de modèle pendant la simulation.

Afin de répondre à cette spécificité, F. Barros (1997) a proposé une extension du modèle DEVS dénommée DSDEVS. Cette extension étend le formalisme en fournissant un « modèle exécutif » dans le modèle couplé à structure dynamique. Ce modèle exécutif est un DEVS modifié/étendu qui comporte une transition de structure et l'ensemble des structures possibles du modèle couplé Σ^* . Ce modèle forme un réseau représenté par la structure suivante (Baati, 2007) :

$$DSDEVN_{\Delta} = \{X_{\Delta}, Y_{\Delta}, \chi, M_{\chi}\}$$

Δ Représente le nom du réseau DS-DEVS. Les attributs X_{Δ} et Y_{Δ} représentent l'ensemble des ports d'entrée et des ports de sortie du modèle global qui ne sont pas tous forcément actifs.

Le modèle M_{χ} définit les ports actifs et précise la manière dont la structure change avec le temps. Le modèle M_{χ} répond aux spécifications DEVS et il est représenté par la structure suivante :

$$M_{\chi} = \{X_{\chi}, S_{\chi}, Y_{\chi}, \delta_{int\chi}, \delta_{ext\chi}, \gamma_{\chi}, \tau_{\chi}\}$$

Le vecteur $S\chi$, appelé vecteur d'état, représente les informations relatives à l'état de la structure du réseau. Ce vecteur est défini par le 8-uplet suivant :

$$S\chi = (X_{\Delta}^{\chi}, Y_{\Delta}^{\chi}, D\chi, \{M_i^{\chi}\}, \{I_i^{\chi}\}, \{Z_{i,j}^{\chi}\}, SELET\chi, V\chi)$$

X_{Δ}^{χ} , définit l'ensemble des ports d'entrée actifs et représente un sous-ensemble de X_{Δ} . $D\chi$ est l'ensemble des identifiants des modèles actifs et $\{M_i^{\chi}\}$ l'ensemble des modèles actifs où i appartient à $D\chi$. Nous pouvons généraliser la définition en considérant les modèles actifs soit comme des modèles atomiques, soit comme des modèles couplés.

$\{I_i^{\chi}\}$ et $\{Z_{i,j}^{\chi}\}$ définissent les connexions entre les modèles actifs du réseau. La structure est complétée par une fonction de sélection $SELET\chi$, cette fonction gère les problèmes de conflits lorsque plusieurs événements se produisent en même temps et que les destinataires appartiennent au même réseau. Finalement, $V\chi$ représente les autres variables d'états que le modèle exécutif peut utiliser pour prendre des décisions.

Dans cette thèse, nous proposons une approche de formalisation des systèmes multi-agents en utilisant DEVS. Notre formalisation des modèles est basée sur le couplage dynamique, pour laquelle nous allons utiliser l'extension DS-DEVS dans notre architecture afin de pouvoir assurer le contrôle sur les modèles au cours de la simulation. Ainsi, afin d'intégrer le processus dans une architecture multi-agents, nous proposons de modéliser le processus sous forme d'un agent DEVS afin de le coupler avec les autres agents.

2.2.3 Comportements des agents

L'identification et le raffinement des types d'agents sont effectués dans la phase d'analyse en appliquant un certain nombre de considérations, à savoir :

- **le support** : il vérifie comment, quand et où les informations requises sont récupérées et stockées,
- **la découverte** : il définit comment chaque agent identifie les autres agents avec qui il est en interaction,
- **La gestion** : elle contient les informations utiles lorsque les agents sont appelés.

Les agents présents dans la plateforme sont l'agent parcours, l'agent consommateur et l'agent fournisseur. Ces agents seront détaillés dans la suite du mémoire.

2.2.3.1 Structure d'un examen BPMN en XML

L'intégration d'un modèle exprimé en BPMN dans un système multi-agents requiert un passage du système du haut niveau vers le niveau bas (de l'abstraction vers le codage), et ce à travers un intermédiaire. BPMN 2.0 présente

l'avantage d'être « *sérialisable* ») sous une forme de structure de données (XML). XML « *eXtensible Markup Language* » (Clark et DeRose, 1999) est un langage de description et d'échange de documents structurés (codage d'une information sous la forme d'une suite d'informations plus petites. Il permet, à l'aide d'un système de balisage, de représenter les éléments qui composent la structure d'un document et les relations entre ces éléments. Son objectif est de définir un formalisme d'échange entre différentes structures. Un document XML contient, en général, une ou plusieurs unités d'information, chacune d'elles étant une chaîne de caractères délimitée par deux balises (une balise est une suite de caractères encadrée par " < " et " > "). Chaque unité d'information peut être elle-même composée d'autres sous-unités on parle de nœuds parents et nœud enfants.

Dans le but de réutiliser notre modèle BPMN par la suite, nous proposons de représenter le diagramme de la Figure 39 sous format XML, en effet les outils supportant la version 2.0 de BPMN permettent de générer automatiquement un tel fichier sous l'extension (.bpmn). Ce fichier est standardisé par l'OMG : quel que soit l'outil utilisé, la même structure de fichier sera obtenue.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<model:definitions xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:bonitaConnector="http://www.bonitasoft.org/studio/connector/definition/6.0"
xmlns:dc="http://www.omg.org/spec/DD/20100524/Dc"
xmlns:di="http://www.omg.org/spec/BPMN/20100524/DI" .....>
  <model:collaboration id="...">
    <model:participant id="..." name="Consommation" processRef="..."/>
    <model:participant id="..." name="Client">
  </model:participant>
    <model:participant id="..." name="Production" processRef="..."/>
    <model:participant id="..." name="Fournisseur 1">
    <model:participant id="..." name="Fournisseur 2">
    .....
  </model:collaboration>
  <model:process id="..." name="Consommation">
    <model:ioSpecification id="..._Znr9gevjEei7_4jopLbdVw">
      <model:inputSet id="..._Znr9guvjEei7_4jopLbdVw"/>
      <model:outputSet id="..._Znr9g-vjEei7_4jopLbdVw"/>
    </model:ioSpecification>
    .....
    <model:startEvent id="..." name="Expression du besoin"/>
    <model:userTask id="..." name="Selection F"/>
    <model:intermediateCatchEvent id="..." name="Message2">
    ...
  </model:intermediateCatchEvent>
    <model:intermediateThrowEvent id="..." name="Message 1">
    ...
  </model:intermediateThrowEvent>
    <model:endEvent id="..." name="End1">
    <model:terminateEventDefinition id="..."/>
  </model:endEvent>
    <model:sequenceFlow id="..." name="..." sourceRef="..." targetRef="..."
  </model:process>
  <model:process id="..." name="Production">
    <model:ioSpecification id="...">
    .....
    <model:laneSet id="Production_laneSet">
      <model:lane id="..." name="Fournisseur 1">
      .....
    </model:lane>
      <model:lane id="..." name="Fournisseur 2">
      .....
    </model:lane>
    <model:laneSet>
      <model:task id="..." name="Tâche_1"/>
      <model:task id="..." name="Tâche_2"/>
      <model:startEvent id="..." name="Demande reçue">
    </model:startEvent>
      <model:task id="..." name="Tâche_3"/>
      <model:endEvent id="..." name="End2">
    </model:endEvent>
    .....
  </model:process>
</model:definitions>

```

Figure 39. Principaux éléments du fichier XML généré

Dans notre étude, nous nous intéressons principalement aux caractéristiques des éléments suivants :

- **Les participants au niveau « pool »** : caractérisés par un identifiant, un nom et une référence de processus,

- **Les participants au niveau « lane »** (tâches et événements) : caractérisés par un identifiant et un nom,
- **Les flux de séquence** caractérisés par : un identifiant, un nom, la référence de la source et la référence de destination.

Sachant qu’il est intéressant qu’une architecture supporte plusieurs modèles de différents langages pour assurer l’interopérabilité, nous proposons un modèle agent DEVS qui permet le traitement du fichier XML, obtenu à partir du diagramme BPMN. Cet agent sera responsable de toutes les communications entre les agents du système.

2.2.3.2 L’agent « *BpDevs* »

Les différentes formes d’interaction sont la collaboration et la coordination d’actions. La première s’intéresse à la façon dont le travail est réparti entre les agents et la seconde analyse la manière dont les actions des différents agents est censée être organisée dans le temps et dans l’espace de référence. Quant à l’orchestration, elle permet de contrôler les acteurs d’un processus quand ils sont tous dans un domaine de contrôle.

L’intégration de l’approche processus dans une architecture multi-agents, permet de concevoir les différentes formes d’interactions dans lesquelles les agents peuvent être impliqués pour accomplir leur tâche. Ce modèle sera responsable de la collaboration, de la coordination et de l’orchestration dans le système multi-agents et peut être instancié par un ou plusieurs agents. La Figure 40 montre le comportement de ce modèle qu’on nommera par la suite « *BpDevs* ».

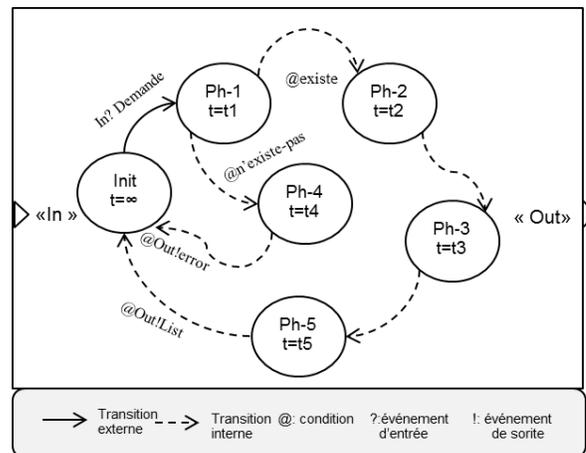


Figure 40. Comportement du Modèle BpDevs

Après la phase d’initialisation qui permet de lire le fichier tout en s’assurant que sa structure répond aux normes d’un fichier XML, le passage à l’étape suivante « ph_1 » est conditionné par l’arrivée d’un message d’un autre agent « Consommateur ou Fournisseur » par le port « in ». Dans l’étape suivante,

le modèle vérifie si le demandeur fait bien partie des participants du processus. Dans le cas où il ne le trouve pas, un message d'erreur est envoyé. Dans le cas où le participant existe, le modèle récupère la liste des tâches à exécuter selon l'identité du demandeur, qu'il lui envoie par le biais du port de sortie «out ». En général, le « BpDevs » agit pour permettre la communication entre les agents et délivre les tâches des balises XML à l'agent concerné par le port de sortie sous forme d'une liste à exécuter selon des conditions dépendant du cas d'étude.

2.2.3.3 L'agent « consommateur »

Le modèle DEVS de l'agent « consommateur » est présenté dans la Figure 41. Nous décrivons ci-après son déclenchement et son comportement.

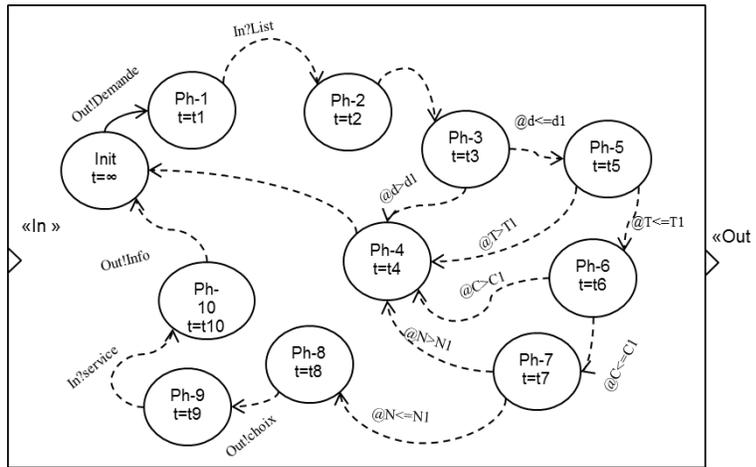


Figure 41. Comportement du Modèle consommateur

A l'issue du besoin exprimé, le consommateur effectue une requête de recherche sur les fournisseurs puis il envoie une demande à l'agent « BpDevs » pour lui communiquer la liste des tâches à exécuter. Dans l'exemple BPMN de la figure 37, nous désignons par la tâche « Sélection F » la tâche décisionnelle qui déclenchera la prise de décision par le consommateur. Au moment de sa réception, le consommateur commence à exécuter les règles de choix définies dans la section auparavant, l'exécution se fait à l'étape « Ph-2 ».

La Figure 41 décrit le comportement DEVS de l'agent « consommateur » dans le cas d'un choix hybride, « d1, T1, C1, N1 » représentent les premiers seuils choisis pour les critères (distance, temps, coût et note). Si un seuil est satisfait, le passage à l'étape suivante s'effectue, sinon le passage par une étape intermédiaire « ph-4 » permettra de choisir un nouveau seuil. Dans le cas où le choix est effectué, le consommateur envoie la décision par le port « Out » concernant le fournisseur ou les fournisseurs choisis qui seront appelés par l'intermédiaire de l'agent « BpDevs ».

2.2.3.4 L'agent « Fournisseur »

Après la phase d'initialisation et suite à la réception d'un événement externe contenant la demande d'un service, le fournisseur demande la liste des tâches à exécuter auprès de l'agent « *BpDevs* ». Une fois la liste reçue, il exécute les tâches dans l'ordre pour délivrer le service final. Le comportement du fournisseur peut être modifié et l'exécution des tâches peut être interrompue par l'arrivée d'un événement externe émanant des autres agents. Ce modèle DEVS est décrit dans la Figure 42.

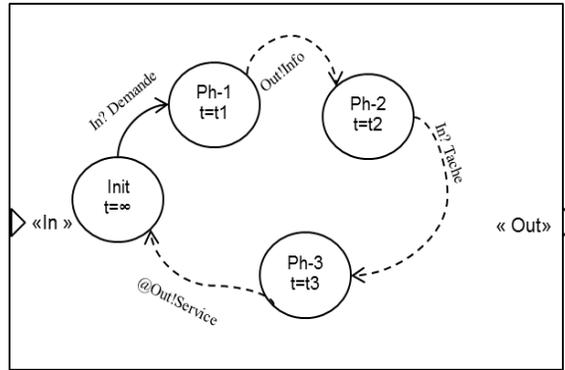


Figure 42. Comportement du Modèle Fournisseur

3> ARCHITECTURE MULTI-PERSPECTIVES A BASE D'AGENTS

Afin de proposer une étude basée sur la population, nous avons étudié un cadre de modélisation multi-perspectives élaboré à partir de (Traoré et al., 2018).

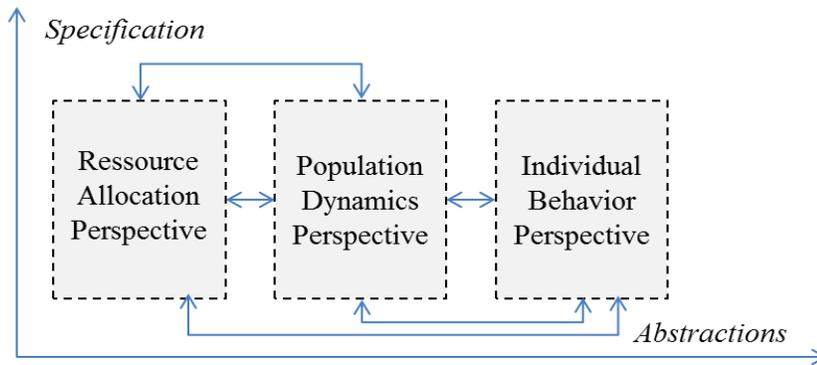


Figure 43. Approche multi-perspectives

Nous avons adapté ce cadre de modélisation à notre étude comme décrit dans la Figure 43. Le cadre adapté comporte trois perspectives, à savoir : une perspective liée à l'allocation des ressources (*Resource Allocation, RA*), une liée aux comportements des individus (*Individual Behavior, IB*) et finalement une perspective décrivant le comportement de la population (*Population Dynamics,*

PD), ces trois perspectives peuvent être utilisées individuellement comme elles peuvent être combinées.

3.1 Perspective du comportement individuel

La perspective du comportement individuel (*IB*) couvre des aspects liées aux individus tels que le niveau d'éducation, l'état physique, les émotions, la cognition, la décision, ... Ces aspects peuvent affecter l'accessibilité aux services. Un individu peut être modélisé comme une entité autonome ou semi-autonome, ou comme un ensemble de flux qui exécutent des scénarios auxquels le consommateur peut être soumis (par exemple : parcours à suivre), qui sont paramétrés par ses besoins (tels que les services / ressources requises), et élaborés en fonction de ses décisions.

3.2 Perspective de l'allocation des ressources

La perspective liée à la dynamique des ressources (*RD*) englobe tous les problèmes de gestion et de planification, liés à la limitation des ressources. Les modèles de RA sont généralement utilisés pour répondre à des questions liées à l'utilisation des ressources du système de production de services dans le but de satisfaire à court et à long terme les besoins de consommation d'une population donnée. Les ressources (qui permettent les services) peuvent être physiques (matériels), humaines, financières ou informationnelles. Les modèles liés à cette perspective décrivent explicitement la dynamique des fournisseurs, de la fourniture du service ou des deux.

3.3 Perspective de la dynamique de population

La perspective de la dynamique de la population (*PD*) comprend tous les éléments relatifs à la dynamique d'une population en tenant compte des caractéristiques de celle-ci (âge, sexe, immigration, naissance, décès...). Les modèles de population correspondent à une approche macro liée à un territoire. Dans notre cas, on spécifie deux types d'individus qui forment deux populations différentes, chacune appartient à un sous-système différent. Dans notre cas, on identifie la population des acteurs producteurs de services d'un côté et la population consommatrice de ces services d'un autre. Ainsi, on suppose dans notre approche qu'un fournisseur ne peut pas être également consommateur.

3.4 Vers une architecture multi-perspectives pour les systèmes multi-agents

Après avoir présenté les différents éléments de base de notre contribution, nous allons présenter dans cette section les outils utilisés dans notre étude, ainsi qu'un aperçu de l'architecture globale.

3.4.1 Environnement de simulation VLE

Pour l'implantation, nous avons choisi l'environnement VLE (*Virtual Laboratory Environment*) (Quesnel et al. 2009). VLE est un environnement de modélisation et simulation DEVS qui implante les simulateurs abstraits de B.P. Zeigler ainsi qu'un lot d'extensions. VLE se base sur deux points importants : le premier concerne les modèles atomiques qui sont représentés par des objets C++ tandis que le deuxième concerne les graphes de connexions, les initialisations et les observations des modèles ainsi que leur représentation dans un fichier XML : VPZ. La modélisation DEVS se fait par une interface graphique de modélisation DEVS, qui est indépendante du noyau de simulation.

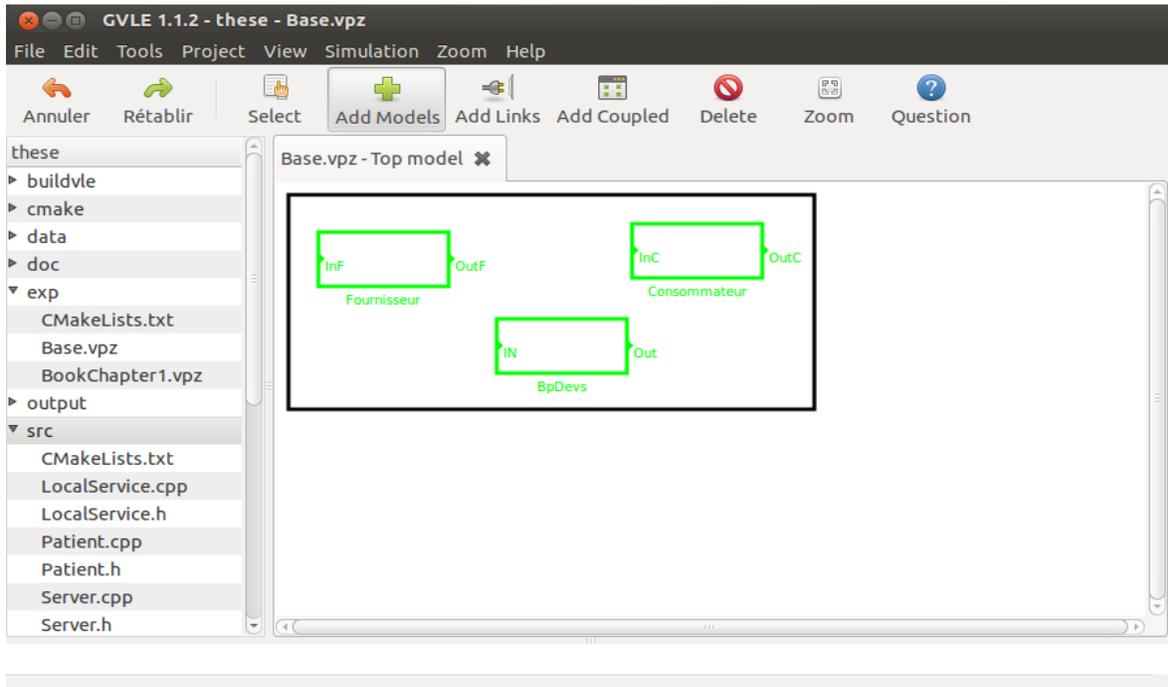


Figure 44. Interface graphique GVLE

Un modèle DEVS est représenté dans l'environnement VLE comme un objet d'une classe qui hérite de `devs::Dynamics`. Cette classe est issue, pour une grande partie, des travaux de Zeigler et al. sur les simulateurs abstraits (2000). La plate-forme fournit un ensemble de classes héritant de `DEVS::Dynamics` avec un comportement prédéfini. Par exemple, la classe extension `::QSS` est adaptée à la résolution d'équations différentielles (Kofman 2002) tandis que la classe extension `::DSDEVS` est adaptée au changement de structure dans la hiérarchie de modèles dans DEVS (Barros 1995). La Figure 44 présente l'interface graphique de l'environnement de développement GVLE que nous utilisons sous Linux pour le développement des modèles.

3.4.2 Diagramme de classe adapté à l'architecture

L'environnement VLE repose sur la programmation orientée objet à l'aide du langage C++. Il offre la possibilité d'utiliser des libraires de modèle DEVS dans la construction des modèles.

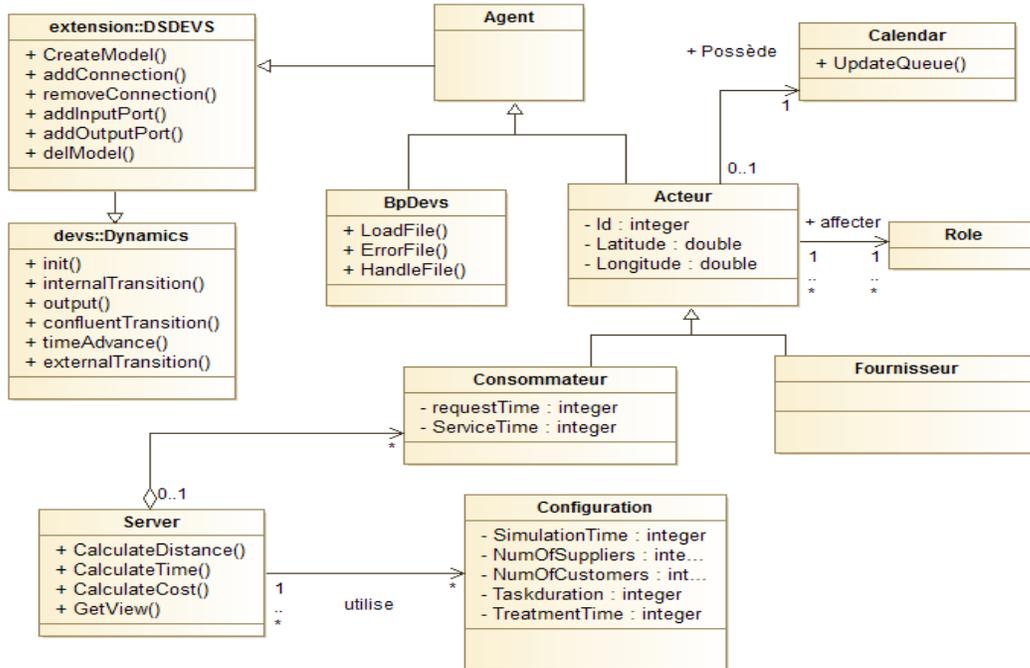


Figure 45. Diagramme de classe adapté pour l'architecture proposée

La Figure 45 affiche les principales classes et fonctions de base qui peuvent être utilisées pour n'importe quel système de services, d'autres éléments peuvent être ajoutés ensuite en fonction de l'étude de cas. Dans notre architecture, nous distinguons les principales classes suivantes :

BpDevs : Dans cette classe, nous définissons les fonctions qui permettent la gestion du fichier d'entrée, sa structure et les éléments qui le composent. La dynamique de ce modèle permet le contrôle des comportements des agents et la communication entre eux.

ModelManage : Cette classe contient les fonctions qui permettent la manipulation de graphes, à savoir l'ajout d'un modèle, la suppression d'un modèle et la gestion des connexions et des ports.

Acteur : La classe acteur définit le modèle lié aux acteurs / participants du processus BPMN. A un acteur est affecté un ou plusieurs rôles, l'acteur dans notre étude peut être un ensemble de fournisseurs ou de consommateurs.

Consommateur : Cette classe décrit le comportement du modèle lié aux consommateurs, sa dynamique est décrite par des fonctions de sélection des

agents selon des règles de choix. Ici, on spécifie plusieurs fonctions dont les principales sont liées à la distance, au temps, au coût et aux avis.

Configuration : Cette classe permet le paramétrage de toutes les variables utilisées dans l'architecture. On note, par exemple, la durée de simulation, le nombre d'acteurs et la durée nécessaire pour exécuter une tâche.

Calendar : Chaque acteur a un calendrier qui permet d'arranger les disponibilités. Dans cette classe, on utilise la méthode de mise à jour du calendrier des acteurs.

3.4.3 Aperçu général

Les différents concepts abordés nous ont permis de proposer une architecture qui permet l'interopérabilité entre des modèles hétérogènes et de prendre en considération la composition d'un système de services à travers une approche multi-agents. Ainsi, notre modèle global permet d'analyser et d'évaluer des services à partir du comportement des acteurs dont nous citons à titre d'exemple les différents scénarios possibles pour effectuer le choix final.

D'autre part, les modèles que nous utilisons sont construits à partir des trois perspectives RA, IB et PD, en utilisant le formalisme DEVS pour la simulation. Le modèle des fournisseurs est décrit en fonction de RA et PD vu que nous considérons une population de fournisseurs. Le modèle IB est un modèle de processus basé sur BPMN et décrivant le parcours du consommateur, et le modèle des consommateurs est défini par les deux perspectives IB et PD.

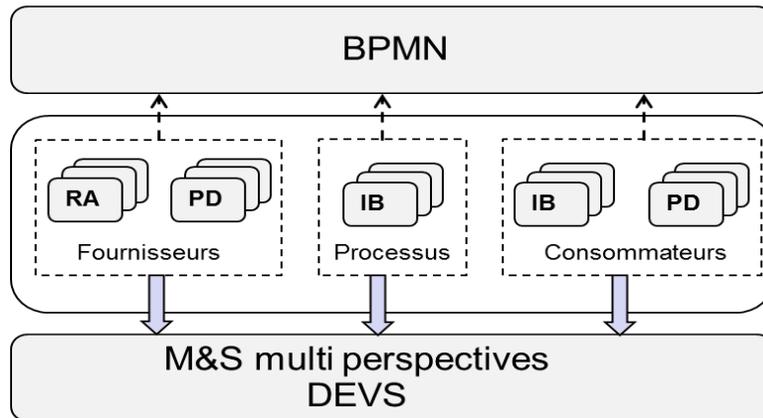


Figure 46. Approche de modélisation et simulation multi-perspectives

De cette manière, la structure multi-agents et multi-perspectives présentée dans la Figure 46 apparaît en raison des relations entre les agents, qui dérivent des spécifications BPMN. Le modèle DEVS résultant de la simulation met l'accent sur des critères de performance tels que le temps moyen nécessaire pour une population de consommateurs pour avoir un service, la distance moyenne parcourue au cours de ce processus, les frais dépensés pour avoir le service final et la note accordée aux fournisseurs choisis.

L'architecture globale de notre contribution est décrite de manière générale dans la Figure 47, la première étape consiste à collecter les données sur les populations, modéliser les interactions à l'aide d'un outil de modélisation graphique BPMN, puis modéliser les agents avec DEVS. En effet, les agents sont développés avec des classes C++, chaque classe d'agents contient les variables et les méthodes qui décrivent le comportement dynamique de l'agent, ces dernières sont sollicitées en fonction des tâches à exécuter, des scénarios et de la configuration adaptée. Finalement, les données de sortie de la simulation sont décrites dans le fichier de sortie généré par VLE et sont interprétées par la suite dans la phase d'analyse.

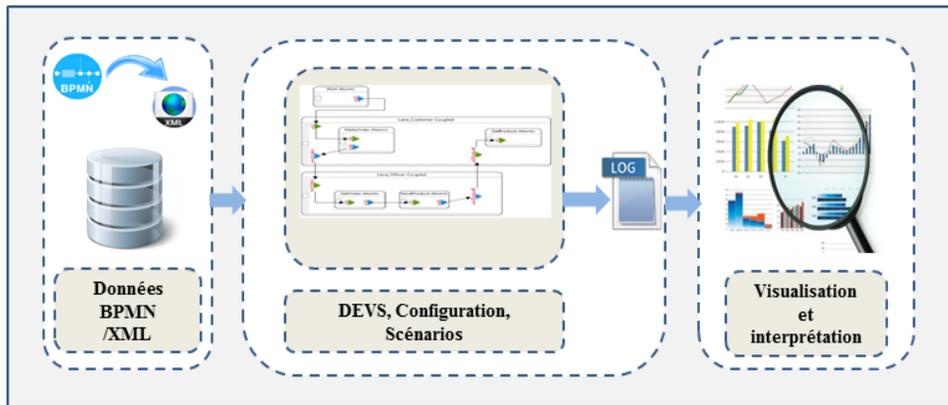


Figure 47. Architecture globale de contribution

3.5 Méthode ANOVA pour la validation

L'analyse de sensibilité globale (AS) permet d'analyser un modèle en étudiant l'impact de la variabilité des facteurs d'entrée du modèle sur la variable de sortie. Déterminant les entrées responsables de cette variabilité à l'aide d'indices de sensibilité, l'AS permet de prendre les mesures nécessaires pour diminuer la variance de la sortie si celle-ci est synonyme d'imprécision, ou encore d'alléger le modèle en fixant les entrées dont la variabilité n'influe pas sur la variable de sortie (Jacques 2011).

L'analyse de variance (ou ANOVA) a été utilisée par comparer les niveaux des populations issus de différents prélèvements. Ainsi, nous distinguons deux types d'analyses effectuées :

- L'ANOVA à un facteur s'applique lorsque l'on souhaite prendre en compte un seul facteur de variabilité,
- L'analyse de variance à deux facteurs permet d'analyser l'impact de deux facteurs combinés.

Dans notre étude, nous proposons d'effectuer le test ANOVA pour comparer les résultats issus de la génération de plusieurs échantillons de la population consommateurs de même territoire. Vu que les consommateurs ont des

positions géographiques aléatoires, le test ANOVA nous permettra d'analyser l'impact des échantillons de population sur les résultats de sorties de notre modèle. Le test ANOVA est effectué grâce à l'outil R studio qui permet d'effectuer des analyses statistiques grâce à la library « *Rcmdr* ».

4> CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents concepts et apports globaux de notre contribution, ainsi nous avons pris en compte les différentes notions abordées et les limitations dégagées dans le chapitre 1, afin de répondre aux maximums aux questions établies à la fin du chapitre 2. Dans le cadre de la contribution, nous avons pu exposer une méthode nouvelle et plus simple pour développer un système multi-agents distribué où des agents intelligents sont capables de communiquer et de coopérer afin de fournir et de composer des services. Ainsi, notre approche permet de souligner l'importance de la combinaison des processus métier dans un système multi-agents pour la simulation, ce qui entrainera la possibilité d'utiliser plusieurs processus en parallèle.

CHAPITRE 4 : APPLICATION A UN TERRITOIRE DE SANTE

Ce chapitre développe la mise en œuvre de la contribution présentée au chapitre 3. Nous avons choisi d'appliquer notre approche de recherche de service et de combinaison de critères pour le choix des fournisseurs à un cas issu du domaine de la santé. En particulier il nous est apparu intéressant d'appliquer cette approche à la problématique de désertification des services de santé en zones rurales. En Aquitaine nous avons choisi le département de la Dordogne car il répondait à la situation de zone à faible densité d'habitants avec de petites et moyennes villes.

1> APPLICATION AU SYSTEME DE SANTE

Les systèmes de santé sont par nature complexes et donc difficiles à gérer. Ils se retrouvent face à plusieurs défis pour répondre aux besoins des patients. Les principaux acteurs du secteur de santé dans le monde comprennent les patients, les médecins, les personnels soignants, les hôpitaux, les organisations de soins, les pharmacies, et les organismes gouvernementaux (Wickramasinghe et al. 2007). Le système de santé est formé de l'interaction de ces acteurs qui constituent des sous-systèmes. La modélisation et la simulation (M&S) peuvent servir dans le développement des modèles de tels systèmes souvent appelés « systèmes de systèmes » (SoS), ces modèles prenant en charge la conception et le test des différents mécanismes qui coordonnent les interactions entre composants indépendants.

D'autre part, La complexité de ce système nécessite de proposer une architecture détaillée de sa structure en se basant sur la représentation de base proposée par la Figure 30. Dans ce contexte, Traoré et al. (2018) ont proposé une décomposition du système de santé qui prend en charge les différents composants et entités de ce système. La Figure 48 illustre cette décomposition, où on trouve trois sous-systèmes à savoir : le système de production, le système de consommation et le système de coordination.

Ainsi, nous distinguons différents niveaux de soins lors de la mise en place des services liés au secteur de santé. Cependant, la décomposition proposée de ces systèmes ne prend pas en considération l'aspect population. Dans notre cas, nous allons considérer cet aspect en tenant compte de deux types de populations : population patients et population acteurs de santé.

1.1 Aspects traités dans l'étude de cas

Afin d'appliquer l'architecture proposée, nous allons présenter les différents aspects liés à notre cas d'étude.

1.1.1 Niveaux de soin

Les niveaux de soin sont les soins primaires, les soins secondaires, les soins tertiaires et les soins à domicile.

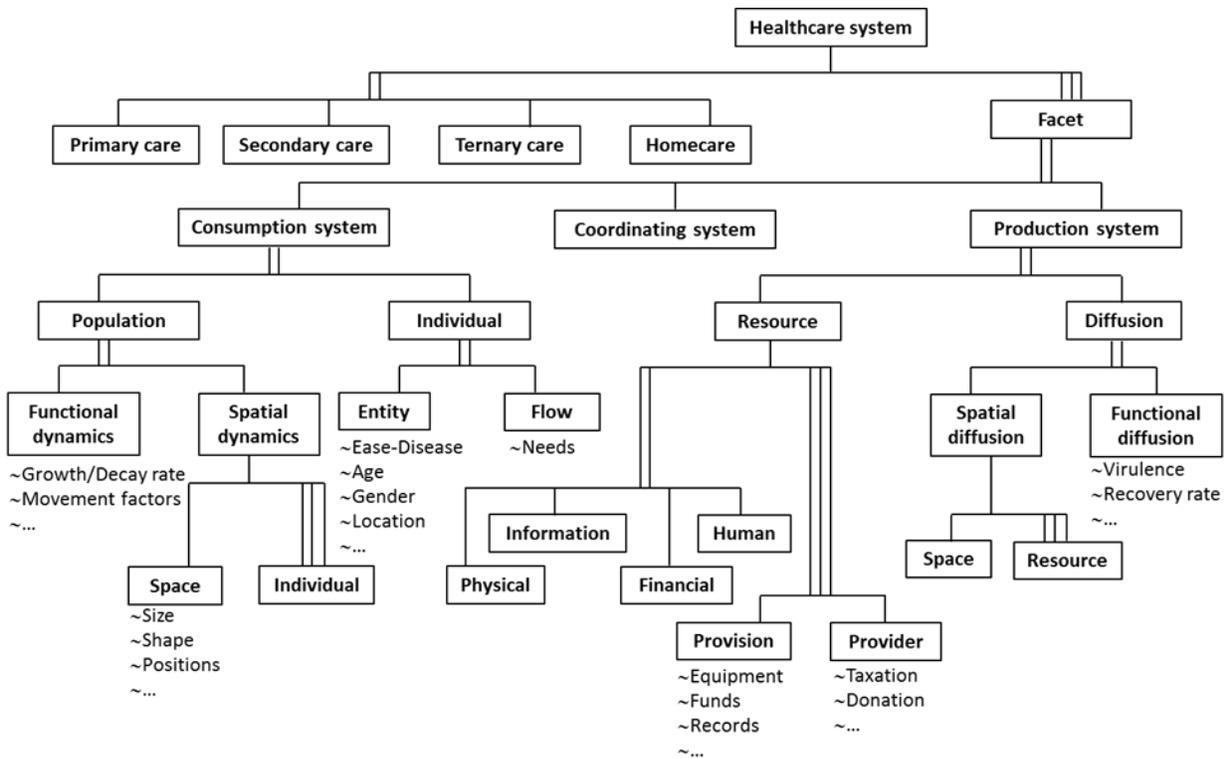


Figure 48. Structure des entités d'un système de santé (Traoré et al. 2018)

Des catégories supplémentaires peuvent être trouvées dans la littérature, que nous pouvons plus ou moins catégoriser comme des sous-classes :

- Les soins primaires constituent le point de départ des consultations pour les patients. Les professionnels concernés dans ce niveau sont les médecins généralistes, les médecins de famille et les infirmiers.
- Les soins secondaires concernent souvent les médecins spécialistes et les centres hospitaliers qui peuvent contenir quelques spécialités médicales.
- Les soins tertiaires concernent les soins et les traitements relatifs à des maladies graves et spécifiques comme les soins intensifs (Bountourelis et al., 2013 ; Price et al., 2013) et les interventions

médicales et chirurgicales complexes (Davis et al., 2013 ; Sobolev et al., 2008).

- Les soins à domicile qui recouvrent tous les soins ou les services pratiqués par des personnes soignants ou prestataire privés d'assistance médicale à domicile (Lee et al., 2013 ; Paleshi et al., 2011).

1.1.2 Les défis du système de santé étudié

Deux grandes catégories peuvent être considérées pour classer les défis auxquels les systèmes de santé sont confrontés à savoir :

- Le volume élevé de demandes de services de santé dû à la croissance démographique, la diversité des catégories de patients, l'évolution des besoins en matière de santé et la répartition inégale des demandeurs de services de soins.
- L'insuffisance de l'offre qui peut résulter des coûts élevés des services ce qui ne leur permet pas d'être accessibles par toute la population. Cela se traduit par une pénurie de ressources financières comme les budgets limités, matériels (insuffisance des lits, matériel d'examen en panne ...) et humains comme l'indisponibilité des personnels de santé.

1.1.3 Les objectifs de la M&S

La M&S en matière de santé s'intéresse de l'amélioration de ce système et vise à donner une vision générale sur le fonctionnement de ce système pour l'aide à la décision. En effet, la question sur l'efficacité des services de santé, est devenue une préoccupation largement traitée par les spécialistes du domaine (Eklund, 2008 ; Shin et al., 2013). Une telle préoccupation est due à la forte demande des services de soins, cette dernière est justifiée par la croissance et le vieillissement de la population mondiale ainsi que par la complexité de gestion des systèmes de santé.

Dans notre cas, nous proposons un modèle basé sur la corrélation entre les deux critères que sont la distance et le temps : une courte durée à parcourir pour visiter un médecin ainsi qu'un temps d'attente raisonnable pour avoir un rendez-vous peuvent garantir un niveau de satisfaction et une bonne qualité d'accessibilité aux soins sur un territoire donné.

1.2 Les résultats de la simulation

Les modèles de simulation dans le domaine de la santé sont utilisés pour effectuer des analyses à deux fins principales : le premier concerne la

planification tandis que le second concerne la prévision et la projection. Ces deux finalités s'appliquent à chacune des trois catégories d'éléments, à savoir :

- les entités en planifiant le temps d'attente et gérer la capacité de prise en charge,
- l'allocation des ressources dans le cadre de leur disponibilité,
- les processus (parcours, flux patient) en optimisant le flux de patient ou en coordonnant les tâches à exécuter.

2> LE SYSTEME DE SANTE FRANÇAIS

2.1 Organisation du système de santé en France

Le système de santé en France est cohérent avec la définition de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) : « l'ensemble des organisations, des institutions et des ressources dont le but est d'améliorer la santé » (Organization, 2008). Ce système repose sur les éléments suivants : la prestation de services, la création de ressources, le financement et la gestion administrative.

Le système de santé français repose sur les principaux acteurs suivants (Vie-publique, 2016) tels que décrits par la Figure 49.

❖ Des « Fournisseurs » de soins, qui regroupent :

- Des professions médicales et pharmaceutiques (médecins, pharmaciens, chirurgiens-dentistes, sages-femmes), des auxiliaires médicaux (infirmières, masseurs-kinésithérapeutes, orthophonistes, etc.) aux statuts et aux modes d'exercices divers : libéraux, salariés ou mixtes ;
- Des établissements de santé couvrant des champs d'intervention différents (hospitalier, médico-social) avec des statuts qui peuvent être publics ou privés ;
- Des réseaux de santé pluridisciplinaires regroupant des médecins, des infirmières et d'autres professionnels (travailleurs sociaux, personnel administratif, etc.) constitués pour favoriser l'accès aux soins, la coordination, la continuité ou l'interdisciplinarité des prises en charge ;
- Des structures de prévention : services de santé au travail, médecine scolaire, services de protection maternelle et infantile, structures de dépistage, etc.

- ❖ **Des producteurs de biens et services en santé**, comme l'industrie pharmaceutique, qui obéissent à des logiques économiques de marché.
- ❖ **Des institutions publiques :**
 - Qui organisent le système tant au niveau national (ministère de la santé) que régional (agences régionales de santé – ARS) ou départemental (conseils départementaux dans le domaine de l'action sanitaire et sociale) ;
 - Qui conseillent ou aident à l'organisation (Haut Conseil de Santé Publique, Institut National de Veille Sanitaire, Agence Nationale d'Appui à la Performance des Etablissements de Santé et Médico-Sociaux, etc.) ;
 - Qui contrôlent et orientent: Le Parlement (au travers des lois de financement de la Sécurité sociale et de l'Objectif national des dépenses d'assurance-maladie –ONDAM), les corps de contrôle (notamment Cour des comptes, Inspection générale des Affaires sociales – IGAS).

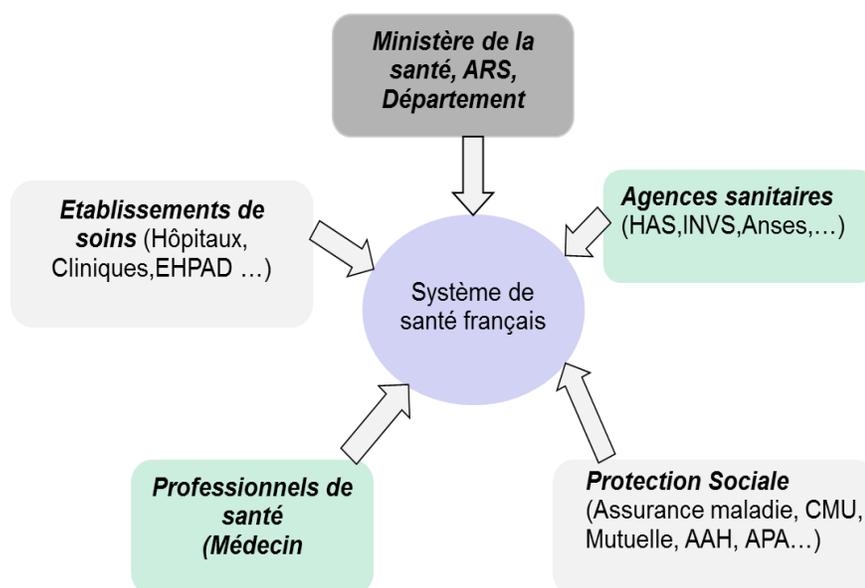


Figure 49. Organisation du système de santé

- ❖ **Des financeurs :**
 - Les assurances maladies obligatoires constituées du Régime général d'assurance maladie, de la Mutualité sociale agricole (MSA), du Régime social des indépendants (RSI) et de certains

régimes spéciaux (par exemple la Caisse d'assurance maladie des industries électriques et gazières – CAMIEG),

- Des assurances maladies complémentaires (mutuelles, assurances privées, institutions de prévoyance),
- La population.

2.2 Défis du système de santé en France

Comme tous ses homologues des pays développés, le système de santé français est aujourd'hui confronté à un certain nombre de défis à savoir :

- **La gouvernance** : elle constitue une fonction essentielle des systèmes de santé et exige une attention particulière. En effet, une transparence et une responsabilité accrue sont des éléments moteurs d'une amélioration des performances des systèmes de santé. Les responsables de ces derniers s'efforcent de mettre en place des stratégies et des politiques pour rassembler et mettre en œuvre des informations utilisables, exercer une influence grâce à la coordination avec des partenaires d'autres secteurs et mener une action de sensibilisation en vue d'améliorer la santé (Organization, 2008).
- **L'accessibilité aux soins** : la question de l'égalité d'accès aux prestations sanitaires est l'une des principales préoccupations adoptées par la Conférence Nationale de la Santé (CNS). L'objectif principal est de « réduire les inégalités intra et interrégionales » et de « garantir à tous l'accès à des soins de qualité » en favorisant l'installation d'établissements et de professionnels de santé dans les zones défavorisées (Brodin, 2000). D'autre part, l'aménagement d'une offre diversifiée de soins de proximité (soins ambulatoires, hospitalisation de premier niveau, services d'urgence) doit permettre une bonne accessibilité aux soins pour l'ensemble de la population (Guigou, 2001).
- **La coordination** : La coordination entre les acteurs de santé est un défi majeur du fait que des canaux de coordination doivent être construits, identifiés, utilisés et réajustés par tous (Zeigler, 2017). La coordination de soins peut être vue comme une approche qui permet de gérer les entités et les ressources existantes (Lamine et al., 2014).

2.3 Etude de cas

2.3.1 Distribution des médecins

Comme cité auparavant, l'un des principaux défis du système de santé, est le déséquilibre entre l'offre et la demande. Cette question continuera d'être probablement au premier plan des préoccupations en matière de politique du personnel de santé avec la progression du vieillissement des populations (Ono et al. 2016a). En 2013, 6% des personnes âgées de plus de 65 ans de 28 pays de l'union européenne ayant déclaré des besoins de santé non satisfaits ont indiqué que les problèmes de distance, de déplacement et de transport étaient les principales raisons de leurs non satisfaction. Cela pose un problème particulier dans les pays où les populations à pourcentage élevé de personnes âgées sont aussi concentrées dans des régions mal desservies par les services en général et plus particulièrement les services de santé.

Starkiène (2013) décrit la distribution inéquitable des ressources médicales comme un phénomène mondial qui peut se manifester dans différentes dimensions. Le manque et le déséquilibre de la distribution des ressources est un problème à la fois social et politique qui mène à des problématique d'accès aux soins (Oliveira et al. 2017). Ce problème s'aggrave dans les zones avec une haute proportion de population à revenu réduit tels que les régions rurales qui sont les plus touchées par le manque de ressources médicale. Selon Starkiène (2013), presque la moitié de la population mondiale vit dans les zone rurales et n'est desservie que par le quart des fournisseurs de soins.

De plus, l'accès aux soins varie dans l'espace car il est affecté par la localisation des professionnels (offre) et la localisation des patients (demande) sachant que la répartition non homogène de ces populations impacte négativement l'accessibilité aux soins. D'autre part, l'accès aux soins est aussi influencé par le statut de la population, les ressources socio-économiques et financières disponibles et les services médicaux offerts à la population (Aday et Andersen 1974 ; Luo et Wang, 2003).

Malgré l'augmentation de la densité des médecins dans la plupart des pays de l'OCDE, le problème de la disparité de leur répartition persiste dans un grand nombre de ses pays (Ono et al. 2014). La France est l'un des pays de l'OCDE où le problème est particulièrement critique sachant que son système de santé repose à la fois sur les hôpitaux publics/privés, les médecins généralistes et les médecins spécialistes qui procurent un ensemble de services aux patients. Ces services doivent être mis à disposition de l'ensemble des populations indépendamment de leur âge, statut et revenus. En France, la question des postes vacants des médecins est souvent abordée car il existe un problème majeur d'inégalité de la distribution géographique des médecins (Ono et al. 2016b).

CHAPITRE 4 : APPLICATION A UN TERRITOIRE DE SANTE

Dans ce cadre Etienne (2012) définit deux types de désertification dans les régions rurales françaises :

- Géographique : les régions de France souffrent de désert médical à cause du nombre important des médecins retraités non remplacés. En plus, plusieurs hôpitaux sont fermés car jugés offrant une qualité de soins insuffisante.
- Sectoriel : certaines spécialités sont sinistrées. Il existe un manque de gynécologues, de pédiatres, d'anesthésistes et de psychiatres. Il faut ajouter à cela les délais hallucinants pour avoir une consultation d'ophtalmologie ou d'endocrinologie dans certaines régions.

La distribution géographique des professionnels du domaine de santé, et particulièrement pour ce qui concerne les médecins spécialistes, est un défi majeur en France alors que la densité médicale est élevée. Cette répartition inégale est désormais un enjeu majeur de la régulation de la démographie médicale (Delattre et Samson 2012). Selon l'INSEE, on comptait 334 médecins pour 100 000 habitants en 2016, soit 60 de plus qu'en 1985 (275 médecins pour 100 000 habitants). En résumé, le problème ne réside pas dans le nombre d'acteurs mais dans leur répartition dans le pays, situation qui rend l'accessibilité aux soins difficile pour la population (Dejean 2015).

La Figure 50 décrit la répartition déséquilibrée des médecins généralistes en France par rapport à la population (CNOM 2014). On peut constater que de nombreuses régions sont confrontées à un manque de médecins. Pour notre étude, nous avons choisi de nous concentrer sur le département de la Dordogne situé en région Nouvelle Aquitaine.

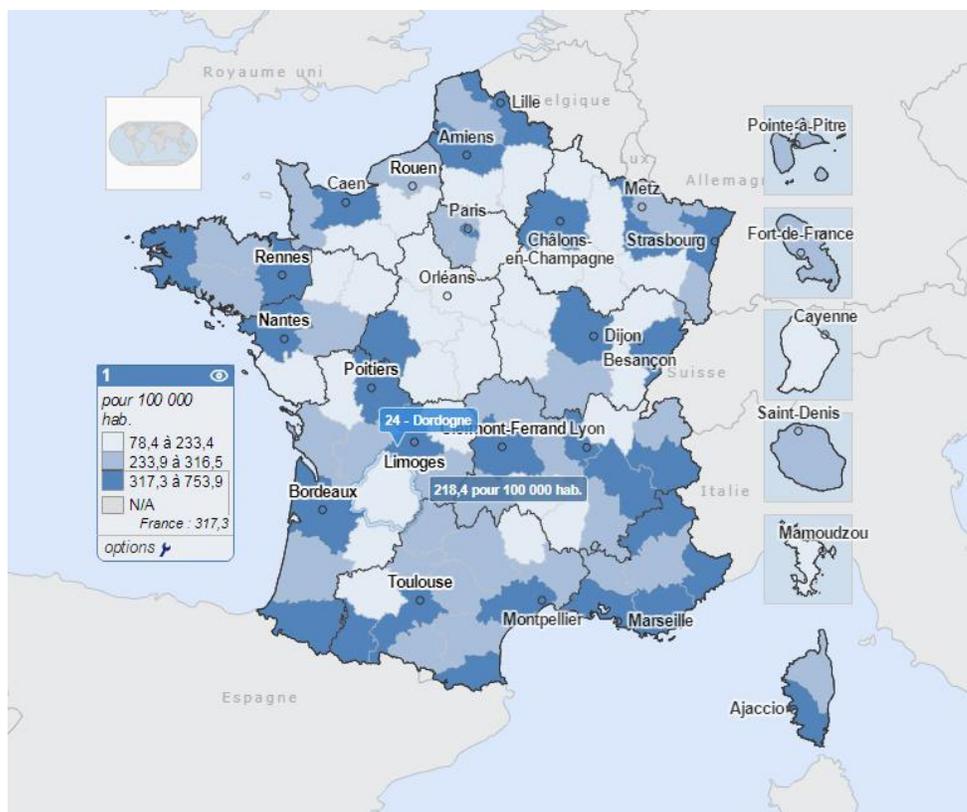


Figure 50. La densité médicale en France (CNOM, 2014)

2.3.2 Le département de la Dordogne

2.3.2.1 Le département

Le département de la Dordogne se situe dans le Sud-Ouest de la France, au sein de la région Nouvelle Aquitaine. La rivière qui lui a donné son nom le traverse dans sa partie méridionale. Ce département est considéré comme représentatif d'une zone de « désert médical », étant peu peuplé et présentant un pourcentage élevé en terme de difficultés d'accès aux services de santé.

Selon une enquête réalisée par l'Agence Régionale de Santé (ARS) et la Conférence régionale de la santé et de l'autonomie d'Aquitaine (CRSA) (2015), la Dordogne est le département le plus touché par les problèmes liés à la santé, avec 63 % de difficultés qui concernent l'accessibilité. En Dordogne, 24% des problèmes d'accessibilité aux soins concernent principalement l'éloignement géographique, des problèmes liés aux longs délais d'attente et finalement des complexités au niveau des démarches administratives. Selon la même enquête l'éloignement entre le domicile et le lieu de prise en charge médicale joue un rôle significatif. En effet, il représente un problème dans 20 % des cas dans les Landes et en Lot-et-Garonne deux autres départements de la région, et 24 % en Dordogne (Dejean, 2015).

2.3.2.2 Population Patients

a) *Pyramide d'âge de la population de la Dordogne*

Outre la pénurie de ressources médicales, des facteurs économiques et sociaux peuvent impacter positivement ou négativement l'accessibilité aux soins. Parmi ces facteurs, on trouve les caractéristiques de la population. Dans ce contexte, la Figure 51 présente la pyramide de la population du département de la Dordogne générée selon des données collectées de l'INSEE (Ferret, 2017). A travers ces données, nous remarquons que les personnes de plus de 60 ans représentent le tiers de la population. Ce département se retrouve face aux problèmes concernant une population vieillissante avec des catégories socioprofessionnelles défavorisées. En effet, la Dordogne est classée 89 sur 100 départements en France en termes d'insuffisance des soins pour la totalité de la population.

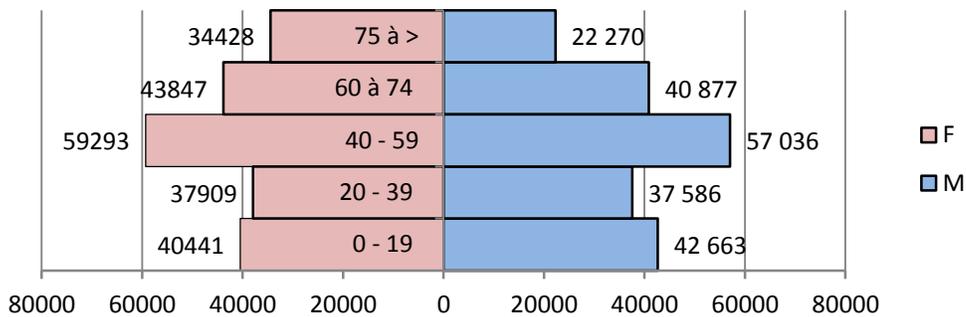


Figure 51. Pyramide de la population de Dordogne

b) *Génération de la population*

Dans le cadre de notre application la population de la Dordogne a été générée selon les statistiques mentionnées dans la figure précédente, nous avons affecté des positions géographiques (longitude et la latitude) aléatoires à chaque individu mais, afin de pouvoir calculer la distance parcourue, la population chaque commune respecte la réalité. Ces informations géographiques sont utilisées pour calculer la distance entre chaque patient et l'ensemble des ressources du territoire utilisées. Puis, en fonction des critères de choix élaborés par le patient, ce dernier sera pris en charge. Ceci nous permettra d'étudier l'accessibilité des services de santé, pour la population des zones rurales et urbaines du département et effectuer une étude comparative à ce niveau.

2.3.2.3 Population des Ressources

Comme indiqué précédemment, la densité médicale dans le département de la Dordogne est faible par rapport à d'autres régions françaises ou aux autres départements de Nouvelle Aquitaine.

CHAPITRE 4 : APPLICATION A UN TERRITOIRE DE SANTE

Dans notre étude de cas, nous allons proposer un parcours de soins qui nécessitent l'intervention des trois ressources médicales suivantes :

- des médecins généralistes (G),
- des radiologues (R),
- des médecins spécialistes : Oto-Rhino-Laryngologistes (ORL).

Les données liées à ces ressources sont extraites à partir des pages jaunes puis stockées dans une base données (ces données contiennent les informations sur l'identité, la spécialité, l'adresse géographique et le numéro de secteur qui spécifie s'il y aura un dépassement d'honoraire ou pas). La Figure 52 illustre la carte de la Dordogne alimentée avec les positions géographiques des ressources. Les bulles orange, rouges et vertes illustrent respectivement les G, R et ORL.

Les données collectées nous ont permis d'identifier des zones de désertification médicale et des zones à forte densité médicale. Dans ce contexte, à travers la représentation des données sur une carte, il est remarquable que la majorité des ressources, notamment les R et ORL, se positionnent dans les deux communes à forte densité de population (Bergerac et Périgueux). Ceci nous a permis de choisir 4 communes pour effectuer notre étude dont la densité et l'emplacement différent de l'une à l'autre.

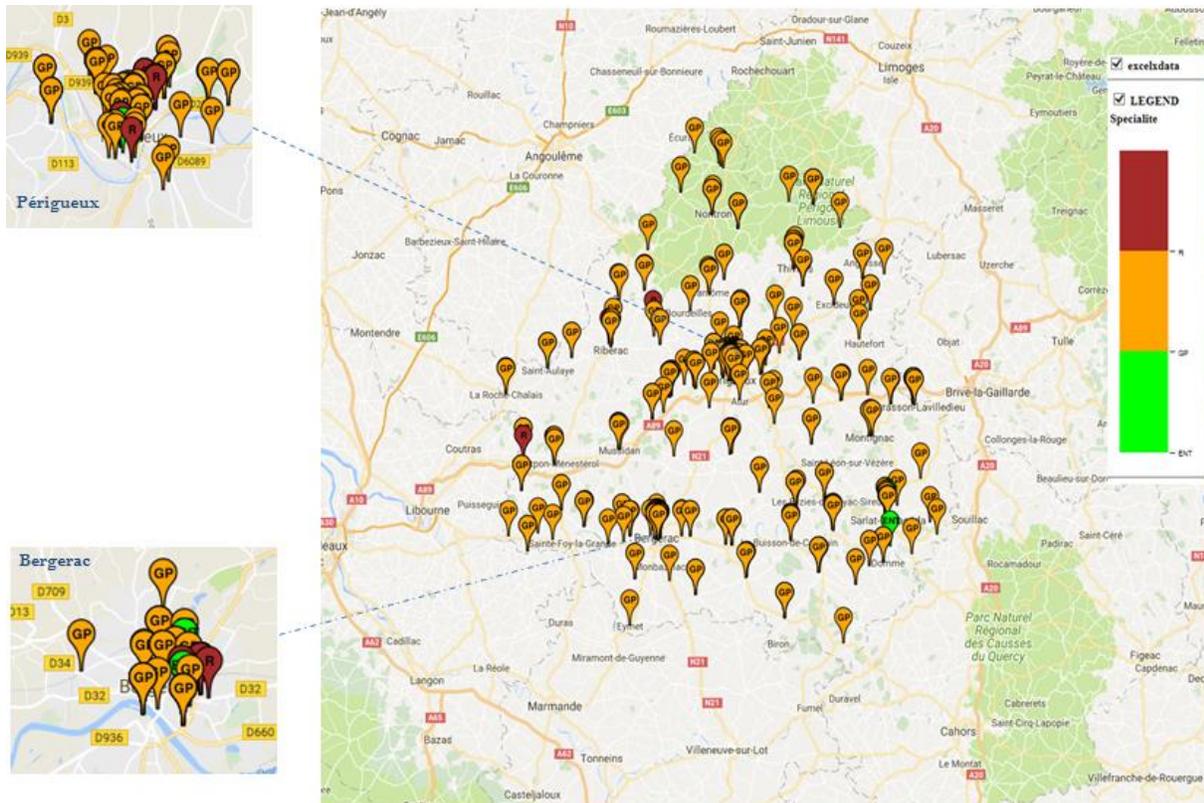


Figure 52. Distribution des ressources de santé (G, R, ORL) en Dordogne

2.3.2.4 Parcours de soin d'un patient (Parcours Patient)

Les parcours de soin définis par la Haute Autorité de Santé (HAS) représentent une tentative de définition du rôle de chaque professionnel de santé dans la progression de la mise en œuvre des ressources médicales. D'autre part, la recommandation 5 du rapport Cordier propose de « garantir pour les malades chroniques une coordination des professionnels de santé, sous la responsabilité du médecin traitant » (Cordier et al., 2013). Donc, le parcours de soin du patient doit s'articuler dans un système structuré, permettant le passage aux soins secondaires lorsque les soins primaires n'ont pas permis de trouver une solution aux problèmes de santé du patient. Le passage par le médecin traitant ne doit plus apparaître comme une obligation administrative, mais comme une étape logique dans la hiérarchisation des soins de santé (Druais et al., 2015).

En se basant sur le principe de passer systématiquement par son médecin traitant, nous proposons de représenter un parcours qui nécessite les trois ressources médicales identifiées précédemment. Ce parcours sera modélisé dans un premier temps comme spécifié dans le chapitre 2 à l'aide de BPMN.

a) Parcours Patient modélisé avec BPMN

Dans cette section, nous présentons le Parcours Patient exprimé en BPMN que nous allons utiliser pour appliquer notre approche. Le modèle BPMN proposé dans la Figure 523 illustre en détail les étapes suivies par le patient ainsi que les rôles des différentes ressources qui participent à l'exécution du parcours. Lorsqu'un patient est confronté à un problème de santé, il contacte d'abord un médecin généraliste (G) qui représente son médecin de référence. Selon les critères de choix que le patient identifie, il fixe un rendez-vous auprès de la ressource concernée. Ainsi, dans le cadre du parcours proposé, le médecin généraliste peut proposer un examen de radiologie en fonction de l'état du patient après examen, par la suite en fonction des résultats, une intervention d'un médecin spécialiste peut être recommandée (ORL dans ce cas). Le BPMN présenté dans cette partie est destiné à faciliter la compréhension du fonctionnement du parcours instancié par les agents lors de la simulation. A titre d'exemple, le message flux « Demande de rendez-vous » représente la condition de déclenchement des règles de choix par le patient.

a) Modèle Simplifié d'un Parcours Patient

Afin d'appliquer notre approche basée sur la population, nous avons décidé de diviser la population en besoin de soins en trois parties (Figure 544). Nous avons alors supposé qu'un tiers de la population initiale se contentera d'une consultation médicale auprès d'un médecin généraliste (soin primaire), un tiers nécessitera un examen chez un radiologue en plus et le dernier tiers va faire l'objet d'une consultation ORL (consultation secondaire) en plus.

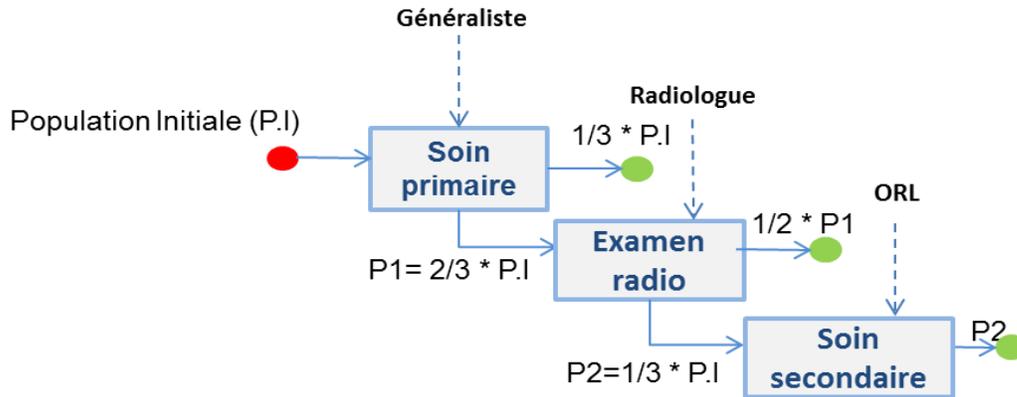


Figure 54. Proportion de la population patients par niveau

2.3.2.5 Les règles de gestion appliquées

Dans le cadre de notre étude, nous proposons d'étudier le système en se basant sur les règles de choix élaborées dans le chapitre 3. Ces règles sont mises en œuvre par les trois algorithmes comme suit.

Règle#1 : Le patient choisit le médecin le plus proche sans tenir en compte du temps d'attente pour avoir un rendez-vous (Figure 55).

Algorithme de la règle #1 : critère de distance

Pour tous les patients et les médecins
 Calculer la distance géographique entre chaque médecin et chaque patient
 Accorder un rendez-vous selon le plus proche;
 Retourner le temps d'attente et la distance;
Fin

Figure 55. Algorithme de la règle #1

Règle #2 : Le patient choisit le médecin disponible le plus rapidement quelle que soit la distance à parcourir (Figure 56).

Algorithme de la règle #2: critère de temps

Pour tous les patients et les médecins
 Calculer le temps d'attente entre chaque médecin et chaque patient
 Accorder un rendez-vous selon le plus rapide;
 Retourner le temps d'attente et la distance;
Fin

Figure 56. Algorithme de la règle #2

Règle #3 : C'est une règle hybride, le choix du patient est évalué par la distance en fonction d'un rayon prédéfinies par le temps d'attente évalué à partir des seuils pour avoir un rendez-vous (Figure 57).

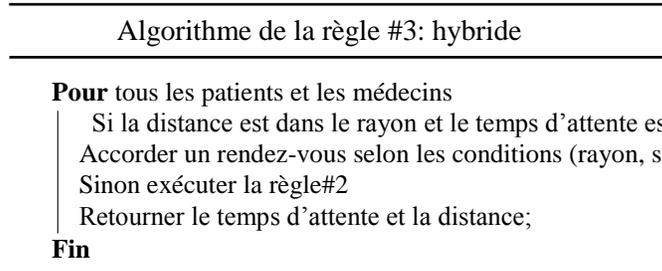


Figure 57. Algorithme de la règle #3

Ces trois règles sont appliquées aux R et aux ORL. Quant aux médecins généralistes, ils ne répondent qu'à la première règle et sont choisis en fonction de leur position géographique, compte-tenu du fait que le système français actuel part du principe que le médecin généraliste ne change pas.

2.3.3 Scénarios et Résultats de simulation

Pour analyser les résultats, nous avons choisi de nous concentrer sur 4 communes. Ces communes représentent des densités de population relativement faibles, moyennes et élevées (Tableau 4).

Tableau 4. Nombre d'habitants des communes d'études

Nom de la commune	Saint-Priest-les-Fougères	Saint-Front-de-Pradoux	Boulazac-Isle Manoire	Périgueux
	●	◻	◊	○
Nombre d'habitants	383	1 170	10 104	31 540

La carte présentée Figure 58 fait apparaître les 4 communes d'études. Périgueux occupe un emplacement central dans le département. Boulazac-Isle Manoire est située à proximité tandis que Saint-Priest-les-Fougères et Saint-Front-de-Pradoux se retrouvent éloignées des ressources identifiées dans la Figure 52.

Par conséquent, d'une part, nous avons généré une population artificielle pour le département de Dordogne commune par commune ; d'autre part, les médecins et personnels de santé (G, R et ORL) ont été renseignés conformément aux informations des Pages Jaunes dans le modèle. Ils sont décrits par leur identifiant, leur profession, leur latitude, leur longitude et leur calendrier de rendez-vous, le calendrier dans cette étude est représenté par un serveur de file d'attente lié à chaque médecin. Ces files d'attente obéissent à la discipline du premier arrivé premier servi, et résultent de la variabilité des tendances d'arrivée

des demandes de rendez-vous pour chaque ressource, dans ce cas nous supposons que le nombre d'arrivées de rendez-vous suit une loi de poisson.



Figure 58. Localisation des quatre communes d'étude

A l'état initial, nous supposons que les calendriers des médecins ne sont pas complètement vides et qu'ils sont déjà renseignés avec les valeurs renseignées dans le Tableau 5 (en jours) (AFP 2015 ; Jalma 2017). De plus, les paramètres liés à la durée de l'examen varient d'un médecin à l'autre. Par exemple, les médecins généralistes effectuent en moyenne 22 consultations par jour d'une durée moyenne de 17 minutes (Martos 2017). Un examen avec un radiologue dure environ 10 à 15 minutes (Ameli 2017). Pour les médecins ORL, la durée des consultations varie peu d'un patient à l'autre : la moyenne des séances dure entre 15 et 20 minutes (Gouyon 2009).

Tableau 5. Temps moyen d'attente médecin

	GP	R	ORL
Régions urbaines	2	6	31
Régions rurales	1	6	21

Les statistiques présentées précédemment sont utilisées pour définir le modèle simulé global. En outre, Charron (2015) montre que le taux d'incidence hebdomadaire d'une maladie telle que la grippe pour 100 000 habitants est d'environ 1000 personnes infectées, cette valeur ne correspondant pas à une épidémie de grippe spécifique. Par conséquent, pour notre étude de cas et comme

nous allons procéder à une simulation pour une durée de quatre semaines de demandes de rendez-vous, nous tiendrons compte d'un taux de 4 000 pour 100 000 habitants pour la population initiale (P.I).

La simulation de cette étude nous permettra d'observer le temps nécessaire pour atteindre les ressources nécessaires et la distance parcourue au niveau des communes pour terminer le parcours. D'autre part, le modèle de simulation choisi prend en considération, comme défini dans le chapitre 2, trois types d'agents : consommateur (patient), fournisseurs (G, R et ORL) et processus (parcours de soin).

Pour les résultats de la simulation, nous avons appliqué les trois algorithmes décrits par les (Figure 55, Figure 56, Figure 57).

Dans ce qui suit, nous présenterons 3 résultats de simulation. Nous présenterons les résultats de la simulation selon 3 dimensions dans des représentations graphiques.

- L'axe horizontal présente les 4 municipalités étudiées de la figure 58 et du Tableau 4.
- L'axe vertical de droite représente la distance moyenne parcourue (km) avec la couleur bleue et le temps d'attente moyen (jours) avec la couleur verte.
- L'axe vertical de gauche présente un pourcentage de barres roses pour le patient qui parvient à atteindre l'intégralité du flux de tâches dans la durée maximale autorisée.

2.3.3.1 Résultat pour la règle 1

La Figure 59 montre les résultats de la simulation de la règle 1 où les patients demandent un rendez-vous en fonction du médecin le plus proche de leur position géographique. Nous remarquons que, dans les communes à forte densité, les patients parcourent moins de 10 kilomètres pour se rendre chez les trois ressources ; par contre, il faut dépasser 40 kilomètres pour les deux autres communes à plus faible densité. Pour les communes à faible densité le temps d'attente moyen pour effectuer l'ensemble du processus est juste inférieur à 30 jours. Dans ce cas, nous remarquons que 100% des patients malades pourront terminer le processus dans une durée égale ou inférieure à 40 jours. Ceci n'est pas le cas pour les patients des deux autres zones urbaines où le temps d'attente moyen dépasse 38 jours. D'autre part, moins de 40% des personnes de ces deux communes denses ayant demandé un rendez-vous au cours de la période de simulation sont en mesure de terminer leur parcours dans un délai égal ou inférieur à 40 jours.

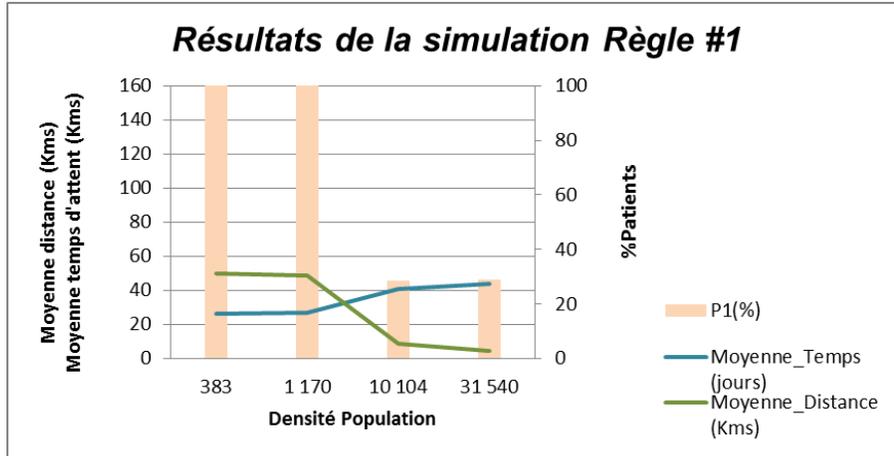


Figure 59. Résultats de Simulation pour la règle 1

2.3.3.2 Résultat pour la règle 2

En ce qui concerne la règle 2 de choix des médecins (Figure 60), les résultats ont montré que dans le cas où le choix du médecin est effectué en fonction de sa disponibilité, les patients des deux zones à faible densité doivent parcourir une distance importante. En effet, dans ces deux zones rurales, la distance parcourue est supérieure à 80 kilomètres tandis que dans les communes à forte densité, elle est inférieure à 40 kilomètres. Cependant, le temps d'attente moyen est inférieur à celui remarqué dans les résultats pour la règle 1 pour les 4 communes. De plus, comme résultat positif de cette règle, plus de 85% des patients malades dans les communes urbaines sont en mesure de terminer le processus dans un délai maximal de 40 jours.

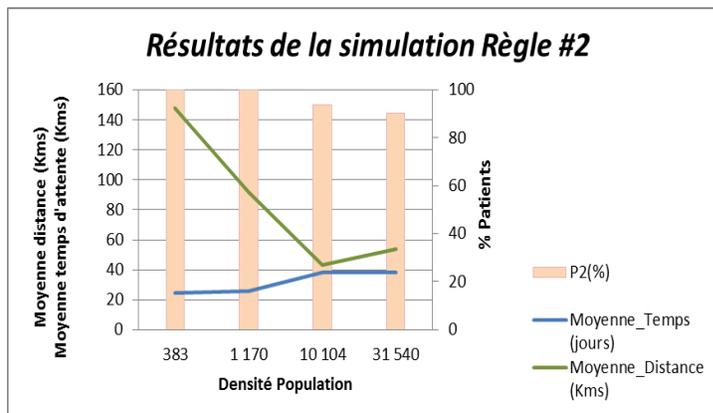


Figure 60. Résultats de Simulation pour la règle 2

2.3.3.3 Résultat pour la règle 3

Dans la règle 3, nous lançons la simulation en fonction de trois valeurs de rayon de distance. Les seuils d'attente ont été fixés à 40 jours pour l'ORL dans les zones urbaines et à 31 jours pour les zones rurales. Quant aux radiologues, le seuil est fixé à 10 jours pour les deux zones d'étude. Ces données ont été

extraites du baromètre de l'accès aux soins (Jalma 2017) et de (AFP 2015). Les résultats de simulation obtenus dans cette section correspondent à la règle hybride précédemment introduite. En fonction des trois valeurs choisies comme seuil de distance, nous avons obtenu les résultats décrits ci-après.

La Figure 61 présente les résultats avec une première valeur de rayon égale à 30 kilomètres. Dans ce cas, aucun des patients des deux régions rurales n'a pu prendre rendez-vous en tenant compte des conditions appliquées pour chaque médecin. Toutefois, dans les autres communes, seulement moins de 10% des patients n'ont pas pu se rendre chez l'un ou les trois médecins, avec un temps d'attente moyen de près de 45 jours et une distance inférieure à 10 kilomètres. C'est en raison du rayon de couverture maximum autorisé que les patients ne peuvent pas accéder à tous les services.

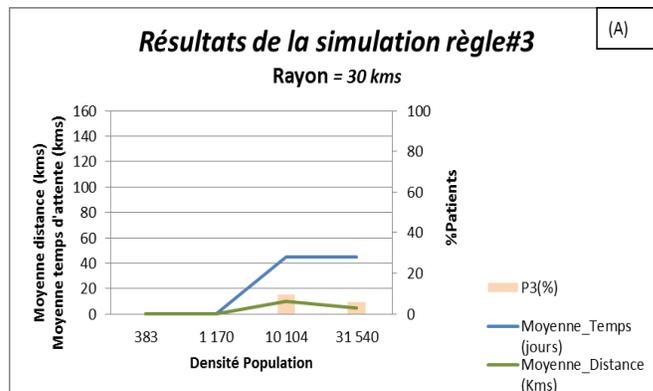


Figure 61. Résultats de Simulation pour la règle 3 (A)

En ce qui concerne la deuxième valeur choisie du rayon (40 km) décrite à la Figure 62, les patients de la commune de Saint-Front-de-Pradou (population de 1170 habitants) pourraient tous avoir un rendez-vous et la distance moyenne à parcourir pour les trois médecins est d'environ 66,39 km, Cependant, le temps d'attente moyen est d'environ 32 jours. Ces résultats démontrent l'avantage d'habiter une commune de taille moyenne proche de zones urbaines plus grandes. Ici, le patient peut d'abord avoir accès aux soins primaires avec un temps et une distance raisonnables, puis se rendre dans un centre plus grand en cas de besoin de soins plus spécialisés.

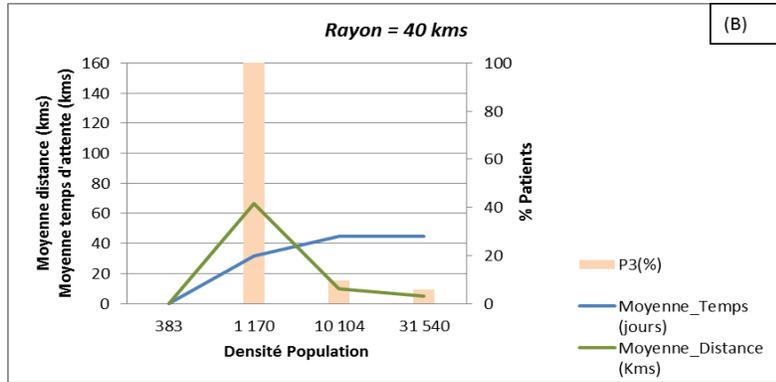


Figure 62. Résultats de Simulation pour la règle 3 (B)

Enfin, sur la Figure 63, la limite a été repoussée à un rayon égal à 50 kilomètres. Dans ce cas, les patients des zones les moins peuplées peuvent très facilement avoir un rendez-vous avec un médecin. Néanmoins, ils devront parcourir environ 95,78 kilomètres pour rendre visite aux trois médecins, afin de réaliser l'ensemble du processus en une durée de 40 jours maximum.

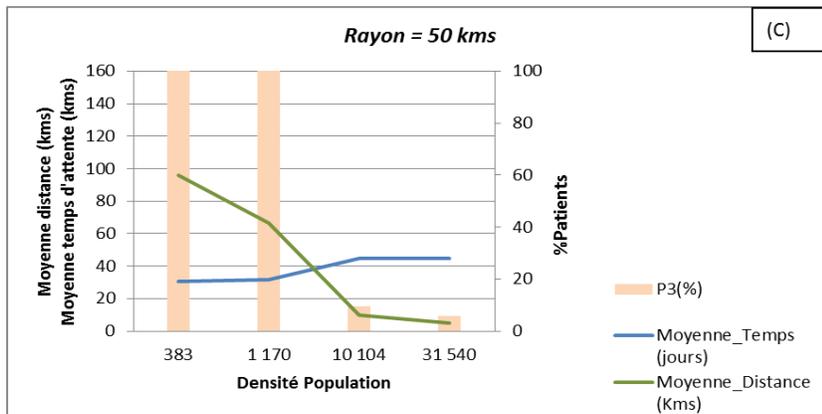


Figure 63. Résultats de Simulation pour la règle 3 (C)

2.3.3.4 Validation de la population d'étude

Afin d'analyser les résultats obtenus et s'assurer que la simulation peut fonctionner pour plusieurs types de populations générées, nous avons lancé la simulation pour trois échantillons de population (P1, P2, P3) pour chaque commune d'étude (C1, C2, C3 et C4). Par la suite, nous avons comparé les résultats en utilisant le test ANOVA (ANALYSIS OF VARIANCE) (Jacques 2011). Le test ANOVA se base sur deux hypothèses (H0 : les moyennes sont égales et H1 : au moins une moyenne est différente des autres).

Un tel test nous a permis d'analyser la sensibilité de notre population aux résultats obtenus. Les résultats du Tableau 6 représentent les valeurs de sortie pour la simulation de la règle 1 en fonction des trois échantillons de la population et au niveau des quatre communes.

Tableau 6. Validation de la population d'étude

Commune	Population	Temps (jours)	Distance (Kms)
C1	P1	26	48,647
C1	P2	28	50,28
C1	P3	26	51,212
C2	P1	26	49,82
C2	P2	27	52,91
C2	P3	26	49,986
C3	P1	41	8,61
C3	P2	41	8,97
C3	P3	41	8,24
C4	P1	43	4,14
C4	P2	45	3,855
C4	P3	43	4,598

C1 : Saint-Priest-les-Fougères C3 : Boulazac-Isle Manoire
 C2 : Saint-Front-de-Pradoux C4 : Périgueux

Plusieurs outils de statistiques offrent des interfaces qui permettent de faciliter l'analyse de sensibilité. Dans ce contexte, nous nous sommes référés à l'outil R studio (Studio 2012) pour analyser la sensibilité de notre population aux résultats obtenus. La Figure 64 montre que les résultats sont significatifs aux niveaux de risque 5%.

En effet nous remarquons que la valeur de *p-value* correspond au facteur de Fisher et est égale à 0,6454. Cette valeur est supérieur à 5%, d'où le maintien de l'hypothèse H0 et le rejet de H1. Finalement, dans ce cas d'étude, on peut considérer que notre population est homogène au niveau de la commune.

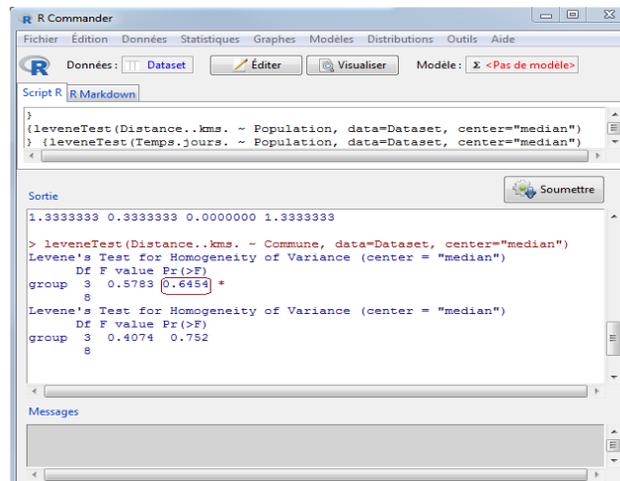


Figure 64. Résultats Test ANOVA par R

2.3.3.5 Résultats avec une redistribution géographique de ressources

Dans cette partie, nous avons évalué l'accessibilité aux soins en se basant sur les mêmes indicateurs que la partie précédente, mais en changeant certains paramètres (repositionnement géographique de quelques ressources à savoir le radiologue et l'ORL). En effet, avec les données collectées et les résultats obtenus, nous avons remarqué que les deux communes rurales ne disposent

d'aucun ORL ou radiologue, d'où la distance élevée à parcourir. Pour cette raison, nous avons proposé de placer une à deux ressources par spécialité et en fonction de la densité de la commune. Ce scénario correspond à l'implantation d'une maison médicale par exemple.

Après avoir lancé la simulation nous avons remarqué qu'il n'apparait pas une grande différence dans le temps d'attente. En effet, dans ce scénario, les ressources sont déplacées mais ne sont pas multipliées. Par contre, la distance à parcourir a diminué pour les deux règles, ces populations obtiennent donc ici un gain significatif en termes de qualité de service. Ces résultats obtenus dans ce cas sont représentés par la Figure 65 et la Figure 66.

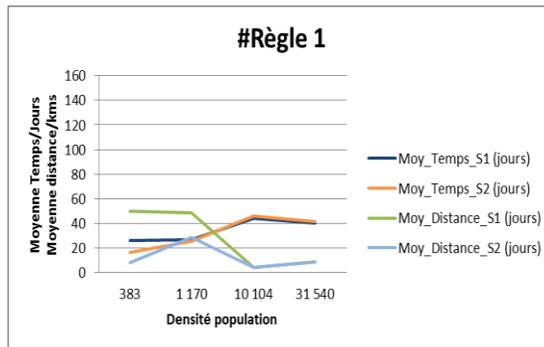


Figure 65. Résultats simulation 2 pour la règle 1

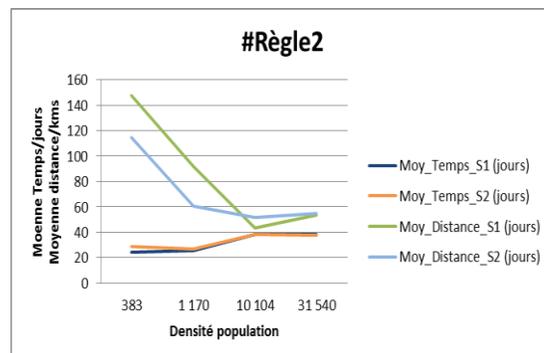


Figure 66. Résultats simulation 2 pour la règle 2

Le résultat qualitatif annoncé peut paraître trivial et ne semble pas nécessiter une simulation pour arriver à cette conclusion. Cependant, l'intérêt de l'étude réside dans la capacité à quantifier cette information. Cette information peut permettre de dimensionner des objectifs et des seuils de signification pour des actions d'incitation d'installation des ressources sur des territoires considérés comme des déserts médicaux.

3>

CONCLUSION

Ce chapitre a permis d'appliquer l'approche proposée dans le cadre d'un territoire de santé. La démarche suivie est basée sur le choix du territoire qui souffre d'une pénurie de ressources médicales. En analysant les différents cas possibles de choix élaborés par le patient pour trouver la ressource convenable, on peut quantifier les ressources nécessaires pour prendre en charge l'ensemble de la population concernée.

En Dordogne, on a pu constater que l'accès aux soins est fragilisé par l'insuffisance voire la disparition progressive des professionnels de santé sur certaines parties du département alors qu'il s'agit de faire face au vieillissement de la population et au développement des pathologies chroniques.

Compte-tenu de l'inégale répartition géographique de l'installations des professionnels de santé sur le département, des délais d'attente pour une consultation et au rallongement des délais d'obtention de rendez-vous avec un spécialiste et pour réaliser un examen, nous pouvons relancer autant de fois que nécessaire l'outil de simulation en changeant les coordonnées géographiques de quelques ressources de telle sorte qu'ils soient un peu plus proches des deux zones rurales, ceci afin d'évaluer les performances choisies. L'outil permet d'évaluer des scénarios d'implantation des centres de ressources de santé dans le cadre de projets d'amélioration de l'accessibilité aux soins dans les zones rurale. Par exemple, les ARS peuvent trouver un intérêt à utiliser de tels outils pour évaluer des scénarios d'amélioration de la qualité des services au niveau du territoire.

CONCLUSION GENERALE

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire de thèse apportent un certain nombre de contributions liées à la modélisation et la simulation dans le secteur des services à la population.

L'enjeu principal de nos travaux de recherche était de proposer une approche méthodologique qui permette d'appliquer la modélisation et la simulation dans le secteur des services à la population. A cette fin, nous avons défini une méthodologie globale qui balaie l'ensemble des éléments indispensables à l'établissement d'un modèle générique intégrant les consommateurs, les fournisseurs, la localisation et les parcours, ce modèle prend en compte l'aspect semi-statique et l'aspect dynamique.

Dans les travaux présentés dans cette thèse, nous avons pu, à travers des notions liées aux services et à travers les travaux réalisés au sein de notre laboratoire, formuler une problématique de recherche qui a fait l'objet de notre contribution.

D'autre part, nous nous sommes basés sur des approches existantes liées à la conceptualisation des services, et en particulier le besoin de comprendre le comportement du consommateur et du fournisseur dans le processus de production de services. Ainsi, dans le but de présenter notre architecture, nous nous sommes basés sur un ensemble de spécifications qui prennent en charge la structure dynamique d'un système. Ces spécifications utilisent les principes de DEVS et de son extension DS-DEVS qui supportent la modularité, la hiérarchie de modèles et la dynamique de la structure, pour définir les différentes entités.

Nous avons proposé à ce niveau deux types d'agents : agent acteur et agent parcours. L'agent acteur définit le comportement des participants dans le processus de production de services. L'agent parcours responsable du contrôle de l'action liée aux processus de servuction. Ces agents sont modélisés en se basant sur une approche multi-perspectives. Le comportement de l'agent est formalisé par un modèle DEVS atomique. Le système global est quant à lui modélisé par un agent DEVS couplé.

Au final, nous avons proposé un ensemble de critères sur lesquels le consommateur peut se baser pour choisir le fournisseur. Une telle approche a permis de mettre le consommateur au centre de son parcours. Pour synthétiser, Nous avons donc proposé une approche générique centrée consommateur permettant la modélisation et la simulation dédié à l'évaluation des services.

Cette approche permet d'étudier l'influence des choix du consommateur sur l'accessibilité aux services à l'échelle territoriale.

Finalement, nous avons pu appliquer notre approche à un territoire de santé qualifié de désertifié, après une étude basée sur les données collectées sur les différentes communes des départements de la Nouvelle Aquitaine. Notre choix s'est orienté vers la Dordogne. Les données collectées sur les ressources médicales nous ont permis de constater qu'il existe un nombre important de communes qui ne possèdent pas de médecin spécialiste et dont les habitants sont obligés de parcourir des distances importantes et, de surcroît, à se confronter à des délais d'attente importants pour obtenir un rendez-vous.

Les travaux présentés dans ce mémoire de thèse se sont aussi confrontés à un certain nombre de limites ou contraintes. Notre apport se situe essentiellement dans la mise en valeur de l'intérêt de la modélisation et la simulation pour l'évaluation des services afin de proposer un outil d'aide à la décision permettant de quantifier les informations pour les dirigeants du domaine. L'outil n'est pas encore portable sur tout cas de services et ni être utilisé directement par le grand public.

A travers cette thèse, nous avons pu identifier des limites qui peuvent permettre de définir des perspectives à ces travaux.

Dans le détail, nous sommes conscients des limitations liées aux données utilisées. En particulier, les positions géographiques des consommateurs sont générées aléatoirement au niveau de la commune même si elles sont encadrées par les données INSEE. Ensuite, la notion de disponibilité des ressources ne dépend que de celles des médecins gérés par des agendas simplifiés et non pas des patients. De plus, le parcours de référence utilisé est un cas-type qui ne correspond pas à une pathologie spécifique. Enfin, nous nous sommes confrontés au problème de la validation des modèles par des professionnels de la santé, n'ayant pas pu mobiliser les experts métiers dans le temps de la thèse. La prochaine étape consistera donc à avoir un retour des professionnels de santé sur l'utilisabilité d'une telle architecture. Enfin, comme énoncé précédemment, la plateforme n'est pas encore accessible aux utilisateurs non experts, elle requiert des notions de programmation pour pouvoir modifier le comportement des agents.

PUBLICATIONS ISSUES DE CES TRAVAUX

- Mariem Sbayou, Youssef Bouanan, Grégory Zacharewicz, Bruno Vallespir. BPMN Coordination and DEVS Network Architecture for Healthcare Organizations. *International Journal of Privacy and Health Information Management*, IGI Global, 2019,7(1), 103-115.), [〈hal-01913718〉](#)
- Mariem Sbayou, Youssef Bouanan, Grégory Zacharewicz, Judicaël Ribault, Julien Francois. Devs modelling and simulation for healthcare process application for hospital emergency department. *Proceeding ANSS '17 Proceedings of the 50th Annual Simulation Symposium*, Apr 2017, Virginia Beach, United States. 〈hal-01934212〉
- Mariem Sbayou, Youssef Bouanan, Grégory Zacharewicz, Julien François. Agent Based Modeling Architecture with BPMN and DEVS Network. *I3M 2017*, Sep 2017, Barcelone, Spain. 〈hal-01934214〉
- Mariem Sbayou, Gregory Zacharewicz, Bruno Vallespir “Pathways-Based Coordination of Care in Rural County in France”, Chapter in *Value-based Learning Healthcare Systems: Integrative modelling and simulation*, 30 Nov 2018, IET, Stevenage, United Kingdom.

REFERENCES

- Abar, S., Theodoropoulos, G.K., Lemarinier, P., and O'Hare, G.M. (2017). Agent based modelling and simulation tools: a review of the state-of-art software. *Computer Science Review* 24, 13–33.
- Abdmouleh, A. (2004). Composants pour la modélisation des processus métier en productique, basés sur CIMOSA. PhD Thesis. Université Paul Verlaine-Metz.
- Aday, L.A., and Andersen, R. (1974). A Framework for the Study of Access to Medical Care. *Health Serv Res* 9, 208–220.
- AFP. (2015). Opthalmos, cardiologues, radiologues... Des délais d'attente très disparates.
- Ahmed, N., and Matulevičius, R. (2013). A taxonomy for assessing security in business process modelling. In *Research Challenges in Information Science (RCIS), 2013 IEEE Seventh International Conference On, (IEEE)*, pp. 1–10.
- Allan, R.J. (2010). Survey of agent based modelling and simulation tools (Science & Technology Facilities Council).
- Ameli (2017). Assurance maladie en ligne, Comment se déroule un scanner ?
- Amice, C. (1993). Open system architecture for CIM. CIM-OSA, Springer, Berlin.
- Anderson, C.R., and Zeithaml, C.P. (1984). Stage of the product life cycle, business strategy, and business performance. *Academy of Management Journal* 27, 5–24.
- ARS (2013). Parcours de soins, parcours de santé, parcours de vie.
- Augusto, V., and Xie, X. (2014). A modeling and simulation framework for health care systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems* 44, 30–46.
- Baati, L. (2007). Approche de modélisation DEVS à structure hiérarchique et dynamique. LSIS UMRCNRS 6168, Domaine Universitaire de St Jérôme.
- Bado, L. (2015). Conférence publique sur la construction d'un véritable état de droit au Burkina: Les deux mesures de Laurent Bado pour rétablir « l'Etat de droit ».
- Bailly, A., and Périat, M. (2003). Activités de santé et développement régional: une approche métrique. *Géocarrefour* 78, 235–238.
- Barbat, V. (2011). Vers une meilleure compréhension des relations client-fournisseur d'interdépendance. *Logistique & Management* 19, 27–39.

Bazoun, H. (2015). Contribution to a methodology for service systems modeling and engineering through a model driven approach: architecture, transformation, and model simulation. PhD Thesis. Université de Bordeaux.

Bazoun, H., Bouanan, Y., Zacharewicz, G., Ducq, Y., and Boye, H. (2014). Business process simulation: transformation of BPMN 2.0 to DEVS models (WIP). In Proceedings of the Symposium on Theory of Modeling & Simulation-DEVS Integrative, (Society for Computer Simulation International), p. 20.

Beaven, M.H., and Scotti, D.J. (1990). Service-oriented thinking and its implications for the marketing mix. *Journal of Services Marketing* 4, 5–19.

Bell, D. (1976). The coming of the post-industrial society. In *The Educational Forum*, (Taylor & Francis), pp. 574–579.

Benabdejlil, H. (2016). Modélisation des processus de soins: vers une implantation de nouveaux services à valeur ajoutée. Bordeaux.

Benabdejlil, H., Alix, T., and Vallespir, B. (2014). Cartographie des acteurs et des processus de soins support à de nouveaux services de santé à forte valeur ajoutée. In *Journées Du Réseau Associatif Pour l'Amélioration de La Qualité En Santé*.

Berry, L.L. (1980). Services marketing is different. *Business* 30, 24–29.

Bessire, D. (1999). Définir la performance. *Comptabilité-Contrôle-Audit* 5, 127–150.

Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99, 7280–7287.

Bonnemaizon, A., Cadenat, S., Benoit-Moreau, F., and Renaudin, V. (2012). Client «exécutant», «assistant marketing opérationnel», «relais» ou «apporteur de solutions»: Dis-moi ce que tu fais, je te dirai qui tu es! *Management & Avenir* 175–193.

Bouanan, Y. (2016). Contribution à une architecture de modélisation et de simulation à événements discrets: application à la propagation d'information dans les réseaux sociaux. PhD Thesis. Bordeaux.

Bountourelis, T., Ulukus, M.Y., Kharoufeh, J.P., and Nabors, S.G. (2013). The modeling, analysis, and management of intensive care units. In *Handbook of Healthcare Operations Management*, (Springer), pp. 153–182.

Bourguignon, A. (1997). Sous les pavés la plage... ou les multiples fonctions du vocabulaire comptable: l'exemple de la performance. *Comptabilité-Contrôle-Audit* 3, 89–101.

Bravoco, R.R., and Yadav, S.B. (1985). A methodology to model the functional structure of an organization. *Computers in Industry* 6, 345–361.

- Breen, G.-M., Wan, T.T., Zhang, N.J., Marathe, S.S., Seblega, B.K., and Paek, S.C. (2009). Improving doctor–patient communication: Examining innovative modalities vis-à-vis effective patient-centric care management technology. *Journal of Medical Systems* 33, 155.
- Brenner, S., Zeng, Z., Liu, Y., Wang, J., Li, J., and Howard, P.K. (2010). Modeling and analysis of the emergency department at University of Kentucky Chandler Hospital using simulations. *Journal of Emergency Nursing* 36, 303–310.
- Breuil, A.D. (1984). Outils de conception et de décision dans les organisations de gestion de production. PhD Thesis.
- Briol, P. (2008). Ingénierie des processus métiers, de l'élaboration à l'exploitation (Lulu.com).
- Brodin, M. (2000). Conférence nationale de santé. Rapport. Paris 67.
- Calheiros, R.N., Ranjan, R., De Rose, C.A., and Buyya, R. (2009). Cloudsim: A novel framework for modeling and simulation of cloud computing infrastructures and services. ArXiv Preprint ArXiv:0903.2525.
- Casati, F., Kuno, H., Alonso, G., and Machiraju, V. (2003). *Web Services-Concepts, Architectures and Applications* (Springer, Heidelberg, November).
- Casti, J.L. (1997). Yllätysten tiede (suomennos alkuperäisteoksesta” Complexification. Explaining Paradoxical World Through the Science of Surprise”, Kimmo Pietiläinen). WSOY, Juva.
- Charron (2015). Surveillance de la grippe et des infections respiratoires aiguës en collectivités de personnes âgées - saison 2014-2015.
- Chase, R.B. (1978). Where does the customer fit in a service operation? *Harvard Business Review* 56, 137–142.
- Chen, I.J., and Paulraj, A. (2004). Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements. *Journal of Operations Management* 22, 119–150.
- Chen, D., Vallespir, B., and Doumeingts, G. (1997). GRAI integrated methodology and its mapping onto generic enterprise reference architecture and methodology. *Computers in Industry* 33, 387–394.
- Chevallier, J. (2004). *L'État post-moderne* (LGDJ Paris).
- Christensen, E., Curbera, F., Meredith, G., and Weerawarana, S. (2001). *Web services description language (WSDL) 1.1* (Citeseer).
- CIMOSA Association (1994). *CIMOSA open system architecture for CIM,M, Technical baseline, Version 3.0*.

Clark, C. (1940). The conditions of economic progress. *The Conditions of Economic Progress*.

Clark, J., and DeRose, S. (1999). XML path language (XPath) version 1.0 W3C.

CNOM (2014). *Cartographie Interactive de la démographie Médicale*.

Comtet, I. (2012). Les environnements collaboratifs de travail au service de l'intelligence collective économique? *Communication et Organisation* 61–72.

Cordier, A., Chêne, G., Duhamel, G., de Haas, P., Hirsch, E., and Parisot-Lavillonière, F. (2013). Un projet global pour la stratégie nationale de santé. *Dix-Neuf Recommandations Du Comité Des" Sages*.

Curtis, B., Kellner, M.I., and Over, J. (1992). Process modeling. *Communications of the ACM* 35, 75–90.

Dahman, K. (2012). Gouvernance et étude de l'impact du changement des processus métiers sur les architectures orientées services : une approche dirigée par les modèles.

Damperat, M. (2005). Les approches de la relation client: évolution et nature. *1ères Journées de Recherche En Marketing*.

Darras, F. (2004). Proposition d'un cadre de référence pour la conception et l'exploitation d'un progiciel de gestion intégré. PhD Thesis. Institut National Polytechnique de Toulouse.

Davenport, T.H. (2005). The coming commoditization of processes. *Harvard Business Review* 83, 100–108.

Davis, A., Mehrotra, S., Friedewald, J., and Ladner, D. (2013). Characteristics of a simulation model of the National Kidney Transplantation System. In *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference: Simulation: Making Decisions in a Complex World*, (IEEE Press), pp. 2320–2329.

Day, G.S. (2000). Managing market relationships. *Journal of the Academy of Marketing Science* 28, 24–30.

Dejean (2015). En Aquitaine, l'accès aux soins est meilleur en montagne.

Delattre, E., and Samson, A.-L. (2012). Stratégies de localisation des médecins généralistes français: mécanismes économiques ou hédonistes? *Economie et Statistique* 455, 115–142.

Deliot-Lefèvre, P. (2006). L'accessibilité des cadres bâtis, des lieux publics et des transports. *Gérontologie et Société* 29, 11–23.

Detournay, B. (2014). L'évaluation économique dans le champ de la santé. *Médecine/Sciences* 30, 584–587.

Do Manh, H. (2005). Modélisation des services dans le cadre de la mobilité (Hanoi: Institut de la francophonie pour l'informatique).

Doumeings, G. (1984). Méthode GRAI: méthode de conception des systèmes en productique. PhD Thesis.

Doumeings, G., Vallespir, B., and Marcotte, F. (1995). A proposal for an integrated model of a manufacturing system: Application to the re-engineering of an assembly shop. *Control Engineering Practice* 3, 59–67.

Doumeings, G., Vallespir, B., and Chen, D. (1998). Decisional modelling GRAI grid. *International Handbook on Information Systems*, Bernus P., Mertins K. and Schmidt G. Ed., Berlin: Springer.

Dreiling, A., Rosemann, M., and van der Aalst, W. (2005). From conceptual process models to running workflows: A holistic approach for the configuration of enterprise systems. *PACIS 2005 Proceedings* 30.

Druais, P.L., Frappé, P., Certain, M.H., Combiér, M., and Gay, B. (2015). La place et le rôle de la Médecine générale dans le système de santé. Rapport Remis à La Ministre de La Santé En Mars.

Dwyer, F.R., Schurr, P.H., and Oh, S. (1987). Developing buyer-seller relationships. *The Journal of Marketing* 11–27.

Edgett, S., and Parkinson, S. (1993). Marketing for service industries-A review. *Service Industries Journal* 13, 19–39.

Edmonds, B., and Meyer, R. (2015). *Simulating social complexity* (Springer).

Edvardsson, B., Gustafsson, A., and Roos, I. (2005). Service portraits in service research: a critical review. *International Journal of Service Industry Management* 16, 107–121.

Eiglier, P. (2004). *Marketing et stratégie des services* (Economica).

Eiglier, P., and Langeard, E. (1987). *Servuction, le marketing des services*, éditions Mc GrawHill (London).

Eklund, F.J. (2008). Resource constraints in health care-Case studies on technical, allocative and economic efficiency.

Etienne (2012). *Le blog du Docteur Loic ETIENNE. La désertification médicale.*

Ferret, J.-P. (2017). 5 879 144 habitants en Nouvelle-Aquitaine au 1er janvier 2014.

Filippi, J.-B., and Bisgambiglia, P. (2004). JDEVS: an implementation of a DEVS based formal framework for environmental modelling. *Environmental Modelling & Software* 19, 261–274.

Fitzsimmons, J.A., and Sullivan, R.S. (1982). *Service operations management* (McGraw-Hill New York).

Flipo, J.-P. (1988). On the intangibility of services. *The Service Industries Journal* 8, 286–293.

Foures, D. (2015). *Validation de modèles de simulation*. PhD Thesis. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

Froman, B., and Gourdon, C. (2003). *Dictionnaire de la qualité: plus de 800 définitions, équivalents anglais, informations normatives commentées* (Afnor).

Gaaloul, W. (2006). *La découverte de workflow transactionnel pour la fiabilisation des exécutions*. PhD Thesis. Université Henri Poincaré-Nancy 1.

Garfin, C., Mantala, M., Yadav, R., Hanson, C.L., Osberg, M., Hymoff, A., and Makayova, J. (2017). Using Patient Pathway Analysis to Design Patient-centered Referral Networks for Diagnosis and Treatment of Tuberculosis: The Case of the Philippines. *The Journal of Infectious Diseases* 216, S740–S747.

Garredu, S., Vittori, E., Santucci, J.F., and Bisgambiglia, P.-A. (2012). A Meta-Model for DEVS-Designed following Model Driven Engineering Specifications. *SIMULTECH 12*, 152–157.

Georgakopoulos, D., Hornick, M., and Sheth, A. (1995). An overview of workflow management: From process modeling to workflow automation infrastructure. *Distributed and Parallel Databases* 3, 119–153.

Germain, N., Rezg, N., Monteiro, T., and Emmanuel, E. (2008). Problématiques de mise en œuvre d'une Hospitalisation Hors les Murs dans un pays en voie de développement: le cas Haïti. In 4ème Conférence Francophone En Gestion et Ingénierie Des Systèmes Hospitaliers-GISEH 08, p. 8.

Giambiasi, N., Frydman, C., and Escudé, B. (1995). Hierarchical/multi-view modeling and simulation. In 7th European Simulation Symposium, p.

Gouyon, M. (2009). Consulter un spécialiste libéral à son cabinet: premiers résultats d'une enquête nationale. *DREES, Études et Résultats* 704.

Grangel, R., Cutting-Decelle, A.-F., and Bourey, J.-P. (2008). A UML profile for transforming GRAI Extended Actigrams into UML. *IFAC Proceedings Volumes* 41, 12885–12890.

Grönroos, C. (1984). A service quality model and its marketing implications. *European Journal of Marketing* 18, 36–44.

Grönroos, C. (2006). Adopting a service logic for marketing. *Marketing Theory* 6, 317–333.

Grove, S.J., Carlson, L., and Dorsch, M.J. (2002). Addressing services' intangibility through integrated marketing communication: an exploratory study. *Journal of Services Marketing* 16, 393–411.

Guérin, E., and Moussouni, F. (2001). Transcriptome hépatique: modélisation conceptuelle par une approche UML. *Les Cahiers Du Numérique* 2, 177–196.

Guibert, N. (1996). La relation client-fournisseur et les nouvelles technologies de l'information: le rôle des concepts de confiance et d'engagement. PhD Thesis. Montpellier 2.

Guigou, J.-L. (2001). Une nouvelle pensée territoriale. *Économie Rurale* 261, 54–60.

Gummensson, E. (1995). Relationship marketing: Its role in the service economy in understanding service management, William J. Glynn and James G. Barnes eds (New York: John Wiley & Sons).

Harper, P.R., and Shahani, A.K. (2002). Modelling for the planning and management of bed capacities in hospitals. *Journal of the Operational Research Society* 53, 11–18.

Haywood-Farmer, J. (1988). A conceptual model of service quality. *International Journal of Operations & Production Management* 8, 19–29.

Heide, J.B., and Miner, A.S. (1992). The shadow of the future: Effects of anticipated interaction and frequency of contact on buyer-seller cooperation. *Academy of Management Journal* 35, 265–291.

Hill, T.P. (1977). On goods and services. *Review of Income and Wealth* 23, 315–338.

Hill, J.B., Pezzini, M., and Natis, Y.V. (2008). Findings: confusion remains regarding BPM terminologies. *Gartner Research* 501.

Hollingsworth, D. (1995). Workflow management coalition. *The Workflow Reference Model* 20–33.

Hoyle, D. (2005). *Automotive quality systems handbook: ISO/TS 16949: 2002 edition* (Elsevier).

Huang, X.-M. (1998). Decision making support in reshaping hospital medical services. *Health Care Management Science* 1, 165–173.

Hurax, T. (2015). Simulation multi-agent d'un système complexe: combiner des domaines d'expertise par une approche multi-niveau-Le cas de la consommation électrique résidentielle. PhD Thesis. UPMC-Paris 6 Sorbonne Universités.

INSEE (2018). *Emploi par activité*.

Jacques, J. (2011). *Pratique de l'analyse de sensibilité: comment évaluer l'impact des entrées aléatoires sur la sortie d'un modèle mathématique*. Lille: Sn.

Jalma. (2017). *Baromètre de l'accès aux soins jalma | smartsanté | ifop*.

Jennings, N.R. (2000). On agent-based software engineering. *Artificial Intelligence 117*, 277–296.

Jensen, K. (1987). Coloured petri nets. In *Petri Nets: Central Models and Their Properties*, (Springer), pp. 248–299.

Johansson, H.J. (1993). *Business process reengineering: Breakpoint strategies for market dominance* (John Wiley & Sons).

John, A.D., and John, S. (1994). Total Quality Management in Services. Part 1: Understanding and Classifying Services. *International Journal of Quality & Reliability Management 11*, 9–26.

Judd, R.C. (1964). The case for redefining services. *Journal of Marketing 28*, 58–59.

Jun, W.-J. (1982). *Valeur relative des éléments d'information dans le processus d'évaluation des produits par le consommateur: un modèle conceptuel et vérifications empiriques*. PhD Thesis. Institut d'études commerciales, Université des sciences sociales de Grenoble.

Klir, G.J. (1985). *Architecture of general systems problem solving* (Plenum, New York).

Koehler, J., Hauser, R., Küster, J., Ryndina, K., Vanhatalo, J., and Wahler, M. (2008). The role of visual modeling and model transformations in business-driven development. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science 211*, 5–15.

Kotler, P. (1982). *Marketing for nonprofit organizations*.

Kotler, P. (2000). *Marketing management, millennium ed*. Prentice Hall.

Kumar, N., Scheer, L.K., and Steenkamp, J.-B.E. (1995). The effects of supplier fairness on vulnerable resellers. *Journal of Marketing Research 54–65*.

Lamine, E., Tawil, A.-R.H., Bastide, R., and Pingaud, H. (2014). Ontology-based workflow design for the coordination of homecare interventions. In *Working Conference on Virtual Enterprises*, (Springer), pp. 683–690.

Law, A.M., and Kelton, W.D. (1982). Confidence intervals for steady-state simulations II: A survey of sequential procedures. *Management Science 28*, 550–562.

Le Boulter, S. (2007). *Évaluer les services publics: l'exemple de la santé. Regards Croisés Sur l'économie 206–215*.

Le Grand Robert, D. de la (2001). *Langue Française (Dictionnaires LeRobert Paris, Édition de)*.

- Lee, S., Kang, Y., and Prabhu, V.V. (2013). Continuous variable control approach for home care crew scheduling. In *Simulation Conference (WSC), 2013 Winter, (IEEE)*, pp. 2262–2273.
- Leymann, F., and Roller, D. (2000). *Production workflow: concepts and techniques* (Prentice Hall PTR Upper Saddle River).
- Lovelock, C., and Gummesson, E. (2004). Whither services marketing? In search of a new paradigm and fresh perspectives. *Journal of Service Research* 7, 20–41.
- Luo, and Wang (2003). Measures of Spatial Accessibility to Health Care in a GIS Environment: Synthesis and a Case Study in the Chicago Region. *Environ Plann B Plann Des* 30, 865–884.
- Macal, C.M. (2016). Everything you need to know about agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation* 10, 144–156.
- Macal, C.M., and North, M.J. (2005). Tutorial on agent-based modeling and simulation. In *Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter, (IEEE)*, pp. 14–pp.
- Macneil, I.R. (1977). Contracts: Adjustment of long-term economic relations under classical, neoclassical, and relational contract law. *Nw. UL Rev.* 72, 854.
- Macneil, I.R. (1982). The new social contract: An inquiry into modern contractual relations.
- Martos (2017). 22 consultations par jour de 17 minutes en moyenne : comment travaillent les généralistes.
- Marvuglia, A., Rege, S., Gutierrez, T.N., Vanni, L., Stilmant, D., and Benetto, E. (2017). A return on experience from the application of agent-based simulations coupled with life cycle assessment to model agricultural processes. *Journal of Cleaner Production* 142, 1539–1551.
- Mencarelli, R., and Riviere, A. (2014). La participation du client dans un contexte de self-service technologies. *Revue Française de Gestion* 13–30.
- Meuter, M.L., Ostrom, A.L., Roundtree, R.I., and Bitner, M.J. (2000). Self-service technologies: understanding customer satisfaction with technology-based service encounters. *Journal of Marketing* 64, 50–64.
- Mili, H., Tremblay, G., Jaoude, G.B., Lefebvre, É., Elabed, L., and Boussaidi, G.E. (2010). Business process modeling languages: Sorting through the alphabet soup. *ACM Computing Surveys (CSUR)* 43, 4.
- Mills, P.K., and Margulies, N. (1980). Toward a core typology of service organizations. *Academy of Management Review* 5, 255–266.
- Mittal, B. (1999). The advertising of services: meeting the challenge of intangibility. *Journal of Service Research* 2, 98–116.

Morley, C., Hugues, J., Leblanc, B., and Hugues, O. (2005). *Processus métiers et SI: évaluation, modélisation, mise en oeuvre*, éditions DUNOD (ISBN).

Mougin, Y. (2011). *La cartographie des processus: Maîtriser les interfaces-La méthode de la voix du client* (Editions Eyrolles).

Murata, T. (1989). Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE* 77, 541–580.

Narayanan, S., and McIlraith, S.A. (2002). Simulation, verification and automated composition of web services. In *Proceedings of the 11th International Conference on World Wide Web*, (ACM), pp. 77–88.

Nguyen, N. (1991). Un modèle explicatif de l'évaluation de la qualité d'un service: une étude empirique. *Recherche et Applications En Marketing (French Edition)* 6, 83–98.

Norme, N.F., and ISO, E. (2005). *9000: Systèmes de Management de la Qualité—Principes essentiels et vocabulaire*. Edition de Octobre.

North, M.J., and Macal, C.M. (2007). *Managing business complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation* (Oxford University Press).

OCDE (2005). *Les services et la croissance économique, Emploi, productivité et innovation*.

Oliva, R., and Bean, M. (2008). Developing operational understanding of service quality through a simulation environment. *International Journal of Service Industry Management* 19, 160–175.

Oliveira, A.P.C. de, Gabriel, M., Poz, M.R.D., Dussault, G., Oliveira, A.P.C. de, Gabriel, M., Poz, M.R.D., and Dussault, G. (2017). Challenges for ensuring availability and accessibility to health care services under Brazil's Unified Health System (SUS). *Ciência & Saúde Coletiva* 22, 1165–1180.

Olson, J.C., and Jacoby, J. (1972). Cue utilization in the quality perception process. *ACR Special Volumes*.

OMG (2003). *MDA Guide Version 1.0.1*.

OMG, B.P.M.N. (2006). *Version 1.0. OMG Final Adopted Specification, Object Management Group 190*.

Onkvisit, S., and Shaw, J.J. (1991). Marketing theories, models and general issues: Is Services Marketing "Really" Different? *Journal of Professional Services Marketing* 7, 3–17.

Ono, T., Schoenstein, M., and Buchan, J. (2014). *Geographic Imbalances in Doctor Supply and Policy Responses*.

Ono, T., Schoenstein, M., and Buchan, J. (2016a). Geographic imbalances in the distribution of doctors and health care services in OECD countries (Health workforce policies in OECD countries: right jobs, right kills, right places. OECD health policy studies. Paris: OECD Publishing).

Ono, T., Schoenstein, M., and Buchan, J. (2016b). Geographic imbalances in the distribution of doctors and health care services in OECD countries (Health workforce policies in OECD countries: right jobs, right kills, right places. OECD health policy studies. Paris: OECD Publishing).

Organization, W.H. (2008). Rapport sur la cinquante-huitième session du Comité régional de l'Europe, Tbilissi, 15-18 septembre 2008.

Paleshi, A., Evans, G.W., Heragu, S.S., and Moghaddam, K.S. (2011). Simulation of mitigation strategies for a pandemic influenza. In Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2011 Winter, (IEEE), pp. 1340–1348.

Pallos, M.S. (2001). Service-oriented architecture: A primer. *EAI Journal* 9, 32–35.

Papazoglou, M.P. (2003). Service-oriented computing: Concepts, characteristics and directions. In Web Information Systems Engineering, 2003. WISE 2003. Proceedings of the Fourth International Conference On, (IEEE), pp. 3–12.

Parasuraman, A., Zeithaml, V.A., and Berry, L.L. (1985). A conceptual model of service quality and its implications for future research. *The Journal of Marketing* 41–50.

Parker, B., and Myrick, F. (2010). Transformative learning as a context for human patient simulation. *Journal of Nursing Education* 49, 326–332.

Pauli, M. (2016). Managing the service concept in creating an innovative tourism product. *Congress Proceedings* 18.

Peelen, E., Jallat, F., Stevens, É., and Volle, P. (2006). *Gestion de la relation client*.

Penserini, L., Perini, A., Susi, A., and Mylopoulos, J. (2006). From stakeholder intentions to software agent implementations. In International Conference on Advanced Information Systems Engineering, (Springer), pp. 465–479.

Perron, F. (1996). *Qualité de service perçue et satisfaction du consommateur dans le commerce de détail*. PhD Thesis. Dijon.

Piccinelli, G., Emmerich, W., Williams, S.L., and Stearns, M. (2003). A model-driven architecture for electronic service management systems. In International Conference on Service-Oriented Computing, (Springer), pp. 241–255.

Pieters, W. (2013). On thinging things and serving services: technological mediation and inseparable goods. *Ethics and Information Technology* 15, 195–208.

Prat, S. (2017). Intégration de techniques de vérification par simulation dans un processus de conception automatisée de contrôle commande. PhD Thesis. Lorient.

Price, S., Golden, B., Wasil, E., and Zhang, H.H. (2013). Optimizing throughput of a multi-room proton therapy treatment center via simulation. In *Simulation Conference (WSC), 2013 Winter*, (IEEE), pp. 2422–2431.

Quartel, D., Dijkman, R., and Van Sinderen, M. (2004). Methodological support for service-oriented design with ISDL. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Service Oriented Computing*, (ACM), pp. 1–10.

Ragaigne, A. (2010). Les fonctions de l'évaluation des services publics locaux par la satisfaction des usagers, entre apprentissage et discipline. PhD Thesis. Université d'Orléans.

Ramis, F.J., Palma, J.L., and Baesler, F.F. (2001). The use of simulation for process improvement at an ambulatory surgery center. In *Proceedings of the 33rd Conference on Winter Simulation*, (IEEE Computer Society), pp. 1401–1404.

Rathmell, J.M. (1966). What is meant by services? *The Journal of Marketing* 32–36.

Rathmell, J.M. (1974). *Marketing in the service sector* (Winthrop).

Recker, J., Rosemann, M., Indulska, M., and Green, P. (2009). Business process modeling—a comparative analysis. *Journal of the Association for Information Systems* 10, 1.

Robertson, A. (2005). *Agent-based modeling toolkits NetLogo, RePast, and Swarm*.

Robillard, A. (2016). *Un centre tertiaire : Val d'Europe*.

Roboam, M., Zanettin, M., and Pun, L. (1989). GRAI-IDEF0-Merise (GIM): integrated methodology to analyse and design manufacturing systems. *Computer Integrated Manufacturing Systems* 2, 82–98.

Rosen, M., Lublinsky, B., Smith, K.T., and Balcer, M.J. (2012). *Applied SOA: service-oriented architecture and design strategies* (John Wiley & Sons).

Roy, D., Anciaux, D., Monteiro, T., and Ouzizi, L. (2004). Multi-agent architecture for supply chain management. *Journal of Manufacturing Technology Management* 15, 745–755.

Rushton, A.M., and Carson, D.J. (1989). The marketing of services: managing the intangibles. *European Journal of Marketing* 23, 23–44.

Ryans, A.B., and Wittink, D.R. (1977). The marketing of services: categorization with implications for strategy. *Contemporary Marketing Thought* 312–314.

Saïkali, K. (2001). Flexibilité des workflows par l'approche objet: 2FLOW, un framework pour Workflows flexibles. PhD Thesis. Ecully, Ecole centrale de Lyon.

Sako, M., and Helper, S. (1995). Supplier relations and performance in the auto industry: European-Japanese-US comparisons of the voice/exit choice (Citeseer).

Sargent, R.G. (2009). Verification and validation of simulation models. In Simulation Conference (WSC), Proceedings of the 2009 Winter, (IEEE), pp. 162–176.

Sasser, W.E., Olsen, R.P., and Wyckoff, D.D. (1978). Management of service operations: Text, cases, and readings (Allyn & Bacon).

Scheer, A.-W. (1993). Architecture of integrated information systems (ARIS). In Proceedings of the JSPE/IFIP TC5/WG5. 3 Workshop on the Design of Information Infrastructure Systems for Manufacturing, (North-Holland Publishing Co.), pp. 85–99.

Scheer, A.-W. (2002). ARIS: des processus de gestion au système intégré d'applications (Springer Science & Business Media).

Scheer, A.-W., and Nüttgens, M. (2000). ARIS architecture and reference models for business process management. In Business Process Management, (Springer), pp. 376–389.

Sempels, C. (2005). L'intangibilité d'une offre globale de services: conceptualisation, opérationnalisation, variables d'influence et impact sur le niveau de risque perçu. PhD Thesis. UCL-Université Catholique de Louvain.

Shanahan, M., Shukla, N., Perez, P., Farrell, M., and Ritter, A. (2016). A systematic review of modelling approaches in economic evaluations of health interventions for drug and alcohol problems. *BMC Health Services Research* 16, 127.

Shin, S.Y., Balasubramanian, H., Brun, Y., Henneman, P.L., and Osterweil, L.J. (2013). Resource scheduling through resource-aware simulation of emergency departments. In Software Engineering in Health Care (SEHC), 2013 5th International Workshop On, (IEEE), pp. 64–70.

Shostack, G.L. (1977). Breaking free from product marketing. *The Journal of Marketing* 73–80.

Shukla, N., and Kiridena, S. (2016). A fuzzy rough sets-based multi-agent analytics framework for dynamic supply chain configuration. *International Journal of Production Research* 54, 6984–6996.

Silvestro, R., Fitzgerald, L., Johnston, R., and Voss, C. (1992). Towards a classification of service processes. *International Journal of Service Industry Management* 3, 62–75.

Simon, A. (2014). Implémentation d'un éditeur BPMN au sein d'un outil de métamodélisation. Mémoire de Master, Université de Naumer.

Singh, M.S., and Singh, L.K. (2015). An empirical analysis on consumers in switching the cellular service provider of manipur. *Editorial board* 70.

- Smith, A. (1976). *Essai sur la nature et les causes de la richesse des nations* (Gallimard).
- Smith, A. (1991). *La Richesse des nations (1776)*. Paris, GF.
- Sobolev, B., Harel, D., Vasilakis, C., and Levy, A. (2008). Using the Statecharts paradigm for simulation of patient flow in surgical care. *Health Care Management Science* 11, 79–86.
- Squazzoni, F., Jager, W., and Edmonds, B. (2014). Social simulation in the social sciences: A brief overview. *Social Science Computer Review* 32, 279–294.
- Starkiène, L. (2013). Inequitable geographic distribution of physicians: systematic review of international experience. *Sveikatos Politika Ir Valdymas* 5.
- Studio, R. (2012). *RStudio: integrated development environment for R*. RStudio Inc, Boston, Massachusetts 74.
- Sutter, E. (2006). *L'évaluation et les indicateurs de la performance des activités info-documentaires* (ADBS éditions).
- Szostak, B., and Lenfant, F. (2015). *La boîte à outils du design management* (Dunod).
- Touzi, W. (2011). *Conceptualisation et modélisation de la production de service: application aux domaines de la santé et de l'enseignement*. PhD Thesis. Bordeaux 1.
- Traoré, M.K., Zacharewicz, G., Duboz, R., and Zeigler, B. (2018). *Modeling and simulation framework for value-based healthcare systems*.
- Treuil, J.-P., Drogoul, A., and Zucker, J.-D. (2008). *Modélisation et simulation à base d'agents*. Dunod Editions 1–13.
- UML, O. (2001). *Unified modeling language*. Object Management Group.
- Vallespir, B., and Doumeingts, G. (2002). *La méthode GRAI. supports de cours de l'école de printemps «Modélisation d'entreprise»*. Albi-Carmaux, France, Groupe de Travail.
- Van de Putte, G., Benedett, T., Gagic, D., Gersak, P., Krutzler, K., and Perry, M. (2001). *Intra-enterprise business process management*. IBM Corporation. IBM International Technical Support Organization. IBM Redbook.
- Van Der Aalst, W.M., Ter Hofstede, A.H., and Weske, M. (2003). Business process management: A survey. In *International Conference on Business Process Management*, (Springer), pp. 1–12.
- Vargo, S.L., and 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*.

Vie-publique (2016). Qu'est-ce qu'un système de santé ?

Vogler, E. (2004). Management stratégique des services: du diagnostic à la mise en œuvre d'une stratégie de service (Dunod).

Wainer, G. (2002). CD++: a toolkit to develop DEVS models. *Software: Practice and Experience* 32, 1261–1306.

Wang, E.T., and Wei, H.-L. (2007). Interorganizational governance value creation: coordinating for information visibility and flexibility in supply chains. *Decision Sciences* 38, 647–674.

Watts, C.A., Kim, K.Y., and Hahn, C.K. (1995). Linking purchasing to corporate competitive strategy. *International Journal of Purchasing and Materials Management* 31, 2–8.

Wemmerlöv, U. (1990). A taxonomy for service processes and its implications for system design. *International Journal of Service Industry Management* 1, 20–40.

WfMC (1999). The Workflow Management Coalition, Workflow Management Coalition Terminology and Glossary, technical report WfMC-TC-1011.

Wickramasinghe, N., Chalasani, S., Boppana, R.V., and Madni, A.M. (2007). Healthcare system of systems. In 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering, (IEEE), pp. 1–6.

Wikipédia (2015). Économie de la France.

Williams, T.J. (1989). A reference model for computer integrated manufacturing (CIM). International Purdue Works.

Williams, T.J. (1994). The Purdue enterprise reference architecture. *Computers in Industry* 24, 141–158.

Wisniewski, M. (2001). Using SERVQUAL to assess customer satisfaction with public sector services. *Managing Service Quality: An International Journal* 11, 380–388.

Zacharewicz, G. (2006). Un environnement G-DEVS. PhD Thesis.

Zacharewicz, G., Diallo, S., Ducq, Y., Agostinho, C., Jardim-Goncalves, R., Bazoun, H., Wang, Z., and Doumeings, G. (2017). Model-based approaches for interoperability of next generation enterprise information systems: state of the art and future challenges. *Information Systems and E-Business Management* 15, 229–256.

Zaidman, C., Roussel, R., Le Garrec, M.A., Bouvet, M., Solard, J., and Mikou, M. (2014). Comptes nationaux de la santé 2013. Collection Études et Statistiques, Drees, Septembre.

Zefouni, S. (2012). Aide à la conception de workflows personnalisés: application à la prise en charge à domicile. PhD Thesis. Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

Zeigler, B.. (1976). Theory of Modelling and Simulation (New York, NY).

Zeigler, B.P. (1984). Multifaceted modelling and discrete event simulation (Academic Press Professional, Inc.).

Zeigler, B.P. (2017). How Can Modeling and Simulation Help Engineering of System of Systems? In Computational Frameworks, (Elsevier), pp. 1–46.

Zeigler, B.P., and Sarjoughian, H.S. (2017). Modeling and simulation of systems of systems. In Guide to Modeling and Simulation of Systems of Systems, (Springer), pp. 3–11.

Zeigler, B.P., Praehofer, H., and Kim, T.G. (2000). Theory of modeling and simulation: integrating discrete event and continuous complex dynamic systems (Academic press).