Architecture distribuée à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence en milieu hospitalier

Amani Daknou

▶ **To cite this version:**

Amani Daknou. Architecture distribuée à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence en milieu hospitalier. Autre. Ecole Centrale de Lille, 2011. Français. NNT : 2011ECLI0011 . tel-00674760

HAL Id: tel-00674760

https://theses.hal.science/tel-00674760

Submitted on 28 Feb 2012

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

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° d'ordre : 158

Ecole Centrale de Lille

THESE

Présentée en vue d'obtenir le grade de

DOCTEUR

Spécialité : Automatique et Informatique Industrielle
Par

Amani DAKNOU

Doctorat délivré par l'Ecole Centrale de Lille

Architecture distribuée à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence en milieu hospitalier

Soutenue publiquement le 06 Juillet 2011 devant le jury :

Président :	Christian TAHON	Professeur, Université de Valenciennes
Rapporteurs :	Abdellah EL MOUDNI	Professeur, Université de Technologie de Belfort-Mont béliard
	Mekki KSOURI	Professeur, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis
Examinateurs :	Béchir BEN SAAD	Inspecteur paramédical et directeur de soin au CHU Sahloul de Sousse
	Mustapha BELHARTH	Professeur, Université de Sousse
Directeurs :	Slim HAMMADI	Professeur, Ecole Centrale de Lille
	Hervé HUBERT	Professeur, ILIS Université de Lille 2
Co-encadreur :	Hayfa ZGAYA	Maître de Conférences, ILIS Université de Lille 2

Thèse préparée dans le laboratoire LAGIS FRE 3303 à l'Ecole Centrale de Lille

Ecole Doctorale 072 Sciences pour l'Ingénieur
PRES Université Lille Nord de France

Dédicaces

A mes très chers parents Neziha et Mohamed

A mes frères Jedidi et Aymen

A mes deux amours Sofiène et Malek

A mes beaux-parents Souad et Habib

A toute ma famille

A tous mes professeurs et mes amis

Remerciements

Je tiens à exprimer en premier lieu ma gratitude à mon directeur de thèse Monsieur Slim HAMMADI, professeur à l'Ecole Centrale de Lille. Je le remercie pour le cadre de travail convivial qu'il m'a fourni, pour ses conseils judicieux et ses critiques qui m'ont permis de mener à bien ces travaux. Enfin, je ne saurais jamais assez le remercier pour sa confiance, ses encouragements, sa gentillesse et pour tous ce que j'ai appris grâce à lui.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Hervé Hubert, professeur à la Faculté d'Ingénierie et de Management de la Santé à l'Université de Lille 2 et Co-directeur de cette thèse, pour son encadrement, sa disponibilité, ses conseils avisés et le partage de ses expériences. Merci pour votre confiance et pour votre collaboration dans la réalisation de ce travail.

Je souhaite exprimer également toute ma gratitude à Mademoiselle Hayfa ZGAYA, maître de conférences à la Faculté d'Ingénierie et de Management de la Santé à l'Université de Lille 2 et Co-encadrante de cette thèse, pour l'énorme soutien scientifique et pour sa perspicacité qui ont contribué à la réalisation de ce travail. Je la remercie pour sa présence et ses encouragements dans les moments les plus durs.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Mekki KSOURI, Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis et Monsieur Abdellah EL MOUDNI, Professeur à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour le temps qu'ils en ont consacré en acceptant d'être rapporteurs.

Je remercie Monsieur Christian TAHON, Professeur à l'Université de Valenciennes d'avoir accepté de présider le jury de ma soutenance et pour son intérêt à ce travail.

Je remercie Monsieur Béchir BEN SAAD, Inspecteur paramédical et directeur de soin au CHU Sahloul de Sousse et Monsieur Mustapha BELHARTH, Professeur à l'Université de Sousse pour avoir accepté d'examiner ce travail. L'intérêt qu'ils ont porté à ce travail m'a très honoré.

Merci à toute ma famille, à mes parents et à mon mari qui m'ont soutenu en toutes circonstances et sans qui, ce travail n'aurait pu arriver à terme. Merci pour la confiance qu'ils ont placé en moi.

Enfin, que tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Table des matières

Introduction générale 12

Chapitre I Problématique du réseau du soin : cas des services d'urgence 15

I.1 Introduction 15

I.2 Organisation actuelle du Système de Santé Français (SSF) 16

I.2.1 Typologie des établissements du SSF 16

I.2.2 Caractéristiques du SSF 17

I.2.3 Le SSF : vers une nouvelle organisation 19

I.3 Le système hospitalier : un système complexe 21

I.4 Enjeux actuels de l'hôpital 23

I.4.1 Maîtrise des dépenses de santé 23

I.4.2 Amélioration de la qualité des soins 24

I.4.3 Optimisation des ressources 25

I.5 Organisation des services d'urgence en France 26

I.5.1 Définition de l'urgence médicale 27

I.5.2 Les services d'urgence actuels et ses limites 29

I.5.3 Organisation de l'accueil des urgences dans l'hôpital public français 32

I.5.4 Le mode de financement des urgences 37

I.6 Les problématiques organisationnelles des services d'urgence 41

I.6.1 L'augmentation de la fréquentation des services d'urgence 42

I.6.2 Problèmes liés à l'organisation aux SU 44

I.6.3 Problèmes liés aux caractéristiques de l'activité médicale au service d'urgence 49

I.7 Conclusion 50

Chapitre II Les systèmes Multi-agents et l'ordonnancement dans le domaine de la santé 52

II.1 Introduction 52

II.2 Etat de l'art sur les systèmes multi-agents 53

II.2.1 Introduction 53

II.2.2 Concepts et définitions 53

II.2.3 Principe de programmation orientée agent 61

II.2.4 Processus de développement d'un SMA 62

II.2.5 Les méthodologies SMA 63

II.2.6 Domaines d'application des SMA 72

II.2.7 Synthèse 75

II.3 Etat de l'art sur l'ordonnancement 76
II.3.1 Introduction 76
II.3.2 L'ordonnancement et les ressources humaines 76
II.3.3 Le problème d'affectation des ressources humaines dans le domaine de la santé..... 80
II.3.4 Prise en compte de l'urgence des tâches et de l'aspect incertain 82
II.3.5 Synthèse..... 83
II.4 Conclusion..... 84
Chapitre III Approche proposée à base d'agents communicants pour l'optimisation de la gestion des services d'urgence 85
III.1 Introduction 85
III.2 Formulation du problème 86
III.3 Architecture multi-agent proposée 89
III.3.1 Positionnement de nos travaux..... 89
III.3.2 Système multi-agent proposé 93
III.4 Description du comportement des différents agents dans le système..... 103
III.4.1 GUI pour le praticien du service d'urgences 103
III.4.2 Agent Accueil (AA)..... 104
III.4.3 Agent Identificateur de problème (AId) 105
III.4.4 Agent Ordonnanceur(AO) 105
III.4.5 Agent Suivi (AS) 107
III.4.6 Agent Mobile Personnel de l'équipe médicale (AMP) 107
III.5 Les caractéristiques de la coordination au service d'urgence..... 108
III.5.1 Les tâches 109
III.5.2 Les acteurs..... 111
III.5.3 Relation entre les tâches et les acteurs..... 112
III.6 Approches et algorithmes d'optimisation proposées..... 113
III.6.1 Les perturbations au SU 114
III.6.2 Modélisation du problème..... 115
III.6.3 Méthode de résolution réactive à trois Phases..... 121
III.7 Modèle proposé de coordination d'agents appliqué au service d'urgence 135
III.7.1 Les modèles existants de coordination d'agents..... 135
III.7.2 Modèle proposé de coordination d'agents au SU..... 138
III.7.3 Le langage de communication adopté entre agents..... 141
III.8 Conclusion..... 145

Chapitre IV Simulations et résultats 146
IV.1 Introduction 146
IV.2 Récolte d'informations terrain 146
IV.3 Plateformes de développement de systèmes multi-agents 150
IV.4 Outils et paramétrages 152
IV.5 Le SADSU en action 154
IV.6 Expérimentation et analyse des résultats 159
IV.6.1 Problèmes tests 159
IV.6.2 Les Résultats 163
IV.6.3 Synthèse 172
IV.6.4 Présentation graphique du SADSU 173
IV.7 Conclusion 174
Conclusion générale 175
Glossaire 177
Bibliographie 178
Annexe1 Grille de visite aux Urgences dans le cadre du Projet ARCIR (2007-2008) 192
Annexe 2 Service des urgences de l'hôpital Sahloul Sousse -Tunisie 198
Annexe 3 Données Simulation 199

Index des figures

Figure I-1 Situation des établissements de santé en 2007 (source SAE 2007) 16
Figure I-2 Organisation de la prise en charge des urgences en France 26
Figure I-3 Les relations hospitalières et extrahospitalières [SFMU, 05] 30
Figure I-4 Architecture schématique [SFMU, 05] 36
Figure I-5 Représentation de la situation économique des services d'urgence 40
Figure I-6 Evolution du nombre de passages annuels aux urgences 43
Figure I-7 Temps d'attente aux urgences [MeaH, 05] 46
Figure I-8 Exemple de processus de prise en charge [Meah, 05] 46
Figure II-1 OMA à structure hiérarchique 57
Figure II-2 OMA à structure de marché 57
Figure II-3 OMA à structure de communauté 58
Figure II-4 OMA à structure de société 58
Figure II-5 Processus de développement Orienté Objet et SMA 63
Figure II-6 classification des méthodologies Multi-agent 64
Figure II-7 Processus de modélisation O-MASE 69
Figure III-1 Diagramme de cas d'utilisation du système proposé 88
Figure III-2 Processus global de prise en charge du patient au service d'urgence 90
Figure III-3 Architecture multi-agent proposée 93
Figure III-4 Diagramme de but 95
Figure III-5 Diagramme de rôle 96
Figure III-6 Diagramme d'agent 97
Figure III-7 Comportement global du système 98
Figure III-8 Plan sélection personnel médical 101
Figure III-9 Plan d'ordonnancement 102
Figure III-10 Plan suivi 102
Figure III-11 Plan de détection de perturbation 103
Figure III-12 Diagramme d'activité de l'Agent Accueil 104
Figure III-13 Diagramme d'activité de l'Agent Identificateur de problème 105
Figure III-14 Diagramme d'activité de l'Agent Ordonnanceur 106
Figure III-15 Diagramme d'activité de l'Agent Suivi 107
Figure III-16 Diagramme d'activité de l'Agent Mobile Personnel de l'équipe médicale 108
Figure III-17 Ordonnancement à l'instant $t=t_0$ 124
Figure III-18 Méthode de résolution réactive adoptée par l'AO 125
Figure III-19 Exemple des différentes situations possibles pour les équipes médicales 126
Figure III-20 Ordonnancement initial 127
Figure III-21 Ordonnancement obtenu suite à l'insertion dans l'intervalle d'accueil 127
Figure III-22 Ordonnancement obtenu suite à la phase d'insertion 128
Figure III-23 Résultat obtenu suite au réordonnancement non préemptif 128
Figure III-24 Résultat obtenu suite au réordonnancement préemptif 129
Figure III-25 Comportement réactif de l'AO dans le cas d'une durée opératoire sous-estimée 133
Figure III-26 Protocole de coordination proposé 139
Figure IV-1 Exemple de grille d'entretien 147

Figure IV-2 Administrateur JADE 152
Figure IV-3 Agent Sniffer 153
Figure IV-4 Diagramme de Gantt à l'instant t=0 156
Figure IV-5 Diagramme de Gantt à l'instant t_2 158
Figure IV-6 Diagramme de Gantt à l'instant t_2 après négociation 158
Figure IV-7 Le nombre de patient traité par le personnel médical du SU pendant une semaine 160
Figure IV-8 Le nombre de patient traité par le personnel médical du SU pendant une semaine avec SADSU 161
Figure IV-9 Représentation graphique du programme détaillé du personnel médical du SU 164
Figure IV-10 Pourcentage de nouveaux patients urgents traités par chaque phase de l'OR-3P 166
Figure IV-11 Pourcentage des patients dont l'état s'est dégradé traités par chaque phase de l'OR-3P 167
Figure IV-12 Pourcentage des opérations de soin sous estimées traitées par chaque phase de l'OR-3P 167
Figure IV-13 Distribution du temps moyen de passage avec l'algorithme OR-3P 169
Figure IV-14 Distribution du délai moyen d'attente avec l'algorithme OR-3P 171
Figure IV-15 Distribution du délai moyen de prise en charge médicale avec l'algorithme OR-3P 172
Figure IV-16 GUI du SADSU 173
Figure IV-17 Diagramme de Gantt 174

Index des tableaux

Tableau I-1 Revue de littérature sur la complexité du système hospitalier 23
Tableau I-2 Dépense courante de santé [DREES, 08] 24
Tableau I-3 Quelques définitions de l'urgence 28
Tableau II-1 Structure d'un message dans la norme FIPA 00037 60
Tableau III-1 Exemple du personnel médical du SU 87
Tableau III-2 Classification Clinique des Malades aux Urgences (CCMU) 89
Tableau III-3 Analogie entre les propriétés de prise en charge au SU et SMA 92
Tableau III-4 Exemple des compétences médicales 116
Tableau III-5 Exemple de table des degrés d'expérience du personnel 117
Tableau III-6 Exemple de table d'identification des opérations de soin nécessitant des compétences multiples 117
Tableau IV-1 Caractéristiques de 4 services d'urgence du Nord-Pas-de- Calais 149
Tableau IV-2 Description du personnel médical du SU 154
Tableau IV-3 Degré de connaissance du personnel 154
Tableau IV-4 Identification des opérations de soin à compétences multiples à t=0 155
Tableau IV-5 Identification des opérations de soin à compétences multiples à t_2 157
Tableau IV-6 Compétences médicales au SU 161
Tableau IV-7 Compétences maîtrisées par le personnel médical du SU 161
Tableau IV-8 Les durées de chaque opération de soin 162
Tableau IV-9 Exemple du plan de traitement détaillé 163
Tableau IV-10 Résultat de la simulation pour une durée de 10000 minutes (1 semaine) 164
Tableau IV-11 Paramètres modifiés par type de scénario 165

Introduction générale

De nos jours, l'intérêt porté à l'exigence de la qualité des soins des établissements de santé à travers une évaluation de l'activité hospitalière prend de plus en plus d'ampleur. Cet enjeu constitue un des volets centraux autour desquels s'articule la réforme actuelle que connaissent les établissements de soins. Ces centres doivent faire face à l'accroissement continuel des exigences des patients de plus en plus avertis des progrès de la science, à la croissance des demandes de soins et à l'évolution des pathologies. Les établissements de soins évoluent donc dans un environnement de plus en plus turbulent et doivent s'affirmer sur un marché de soins où la concurrence ne fait que croître. Il est donc plus qu'évident que les politiques managériales des établissements de soins doivent répondre à de nouveaux défis.

Nous focaliserons notre étude sur un service en particulier : le Service d'Urgences (SU), qui s'inscrit au cœur des compétences médicales. Le service d'urgences n'échappe pas à ce contexte d'évaluation. Il est d'ailleurs d'autant plus concerné par la qualité des soins que son activité ne cesse de croître et que de nombreux problèmes d'organisation et de prise en charge ont été récemment mis en évidence.

L'Urgence est une mission essentielle de l'hôpital public dont l'une des caractéristiques est son aptitude à faire face à tous les besoins exprimés par la population quelle qu'en soit la nature. Outre les notions purement médicales, la médecine d'urgence nécessite de la logistique (avoir le bon équipement et le bon personnel au bon moment et au bon endroit) et de la coopération avec d'autres structures, soit qui seront destinées à accueillir le patient, soit qui peuvent conseiller l'urgentiste dans sa démarche. Cela peut faire intervenir des notions des outils de modélisation et de simulation nécessaires à l'identification des problématiques, à l'identification des profils des patients, à la modélisation des processus, à la maîtrise et à l'optimisation des flux, à la planification et l'ordonnancement des ressources et au pilotage par la performance.

Le service d'urgences ne peut être alors exploité pleinement que s'il y a une amélioration du service rendu aux patients et une réduction des coûts d'exploitation. Toutefois, l'amélioration du temps d'attente des patients est l'un des paramètres indispensable à l'évaluation de la qualité des soins dans le service des urgences. Ce paramètre a aussi une influence sur les coûts. A ce titre, l'objectif du travail de cette thèse est d'étudier le temps d'attente des patients au SU. Dans cette étude, nous souhaitons minimiser ce temps et plus

généralement le temps de passage global et de traitement d'un patient au sein du SU. Il est alors intéressant d'aborder le problème de planification et d'ordonnancement des ressources au SU bien que le flux des malades vers le SU soit irrégulier. Cette irrégularité empêche toute planification *a priori* et pose des problèmes difficiles d'organisation aux responsables de ces unités. Ainsi, pour une qualité optimale du SU, il est donc important d'informer ces responsables en cas de perturbation (l'arrivée d'urgence vitale) et d'avoir la possibilité de leur proposer des solutions. Une telle situation nécessite une stratégie préconçue et une bonne organisation des moyens humains et matériels. Notre analyse a pour but d'étudier les technologies permettant d'améliorer la qualité de soin des SU en temps normal comme en cas d'une perturbation. Nous nous sommes donc intéressés à la conception d'un système d'aide à la décision (SADSU) capable de fournir une information sur l'activité médicale. Le système en question doit être capable d'assister l'utilisateur au SU dans la phase de traitement du patient en lui proposant une meilleure affectation des ressources humaines et/ou matérielles. De plus, il assiste l'utilisateur au cours d'exercer en l'informant dans le cas d'une perturbation et en lui proposant des solutions de secours si nécessaire.
En effet, les principaux objectifs de notre système se récapitulent en trois points :

- Réduire les délais de prise en charge du patient
- Améliorer le rendement de l'équipe soignante
- Et par conséquent, améliorer le service rendu au patient et sa satisfaction

Les propriétés des agents intelligents (autonomie, pro-activité, capacités sociales) et l'architecture des systèmes multi-agents (traitement de l'information distribuée, communication, coordination, négociation) se révèlent une piste prometteuse pour résoudre les problèmes dans le domaine de la santé en général et les problèmes liés aux structures d'urgences en particulier. Ce travail s'appuie sur différentes avancées technologiques relatives au Système Multi Agent (SMA) afin de faciliter l'optimisation de l'information dans un environnement distribué.

Une deuxième thèse de Mr Geoffroy Apeté est intégrée dans le cadre de ces travaux d'optimisation dans la filière d'urgences qui a pour objectif d'étudier l'efficacité économique de la prise en charge des patients au SU et notamment de l'intégration de notre système d'aide à la décision au sein de ces établissements.

Le présent document décrivant le travail effectué est organisé de la manière suivante :

Dans le premier chapitre, nous commençons par étudier le Système de Santé Français (SSF) avec toutes ses spécificités. Ensuite, nous mettons l'accent sur la présentation des caractéristiques des services d'urgences français et de leurs problématiques. Cette description nous parait nécessaire pour bien situer le contexte de l'étude et discuter de notre problématique. Celle-ci consiste à minimiser le temps d'attente des patients dans le service étudié afin d'améliorer sa prise en charge.

Un état de l'art sur les systèmes multi-agent et l'ordonnancement dans le domaine de la santé sera présenté dans le deuxième chapitre.

Dans le troisième chapitre, nous détaillons la conception et la modélisation des différentes composantes de notre système. Nous proposons, ensuite, un algorithme qui répond au besoin de notre problématique.

Dans le dernier chapitre, nous nous consacrons aux aspects relatifs au développement de notre système et nous consolidons tout ceci par des simulations.

Chapitre I
Problématique du réseau du soin : cas des services d'urgence

I.1 Introduction

Le contexte hospitalier actuel avec la croissance des dépenses de santé incite les établissements de santé à adopter une politique plus rigoureuse et objective de maîtrise des dépenses de santé. L'objectif est double : une part le respect des moyens alloués au secteur de la santé, d'autre part, l'utilisation optimale de ces ressources. Ces nouvelles exigences de productivité sont venues s'ajouter à celles de qualité et de sécurité des soins prodigués au patient.

Ces dernières années, la situation des systèmes de santé rappelle celle du monde industriel et des entreprises de production de biens des années 80. En effet, au cours des vingt dernières années, on a assisté à de multiples tentatives d'importation et d'adaptation à l'hôpital de méthodes de gestion empruntées au monde de l'entreprise, et ceci dans le but de profiter de l'expérience gestionnaire dans ce domaine. Les systèmes de santé ont ainsi reconnu de nombreuses restructurations hospitalières. Ces restructurations ont amené, un grand nombre d'hôpitaux à revoir leurs processus opérationnels et à s'investir dans des projets de modernisation de leurs infrastructures et de leurs organisations en s'orientant vers de nouvelles stratégies telles que le plan hôpital 2007 et la mise en place d'un nouveau mode de financement grâce à la tarification à l'activité (T2A).

Dans ce premier chapitre, nous abordons tout d'abord l'organisation du système de santé français. Nous reportons les enjeux relatifs à cette organisation complexe. Ensuite, notre attention se focalise sur le service d'urgences qui présente une mission essentielle de l'hôpital public en France. Le processus s'y déroulant ainsi que les principales problématiques organisationnelles des services des urgences sont précisés.

I.2 Organisation actuelle du Système de Santé Français (SSF)

I.2.1 Typologie des établissements du SSF

Le système hospitalier français se compose d'établissements de santé publics et d'établissements de santé privés (figure I-1). On distingue :

- les établissements publics de santé.
- les établissements de santé privés à but non lucratif admis (sous certaines conditions) à Participer à l'exécution du Service Public Hospitalier (PSPH). Ces établissements signent une convention de participation au service public hospitalier et sont de ce fait soumis à certaines obligations de service public.
- les établissements de santé privés autres que ceux qui assurent le service public hospitalier.

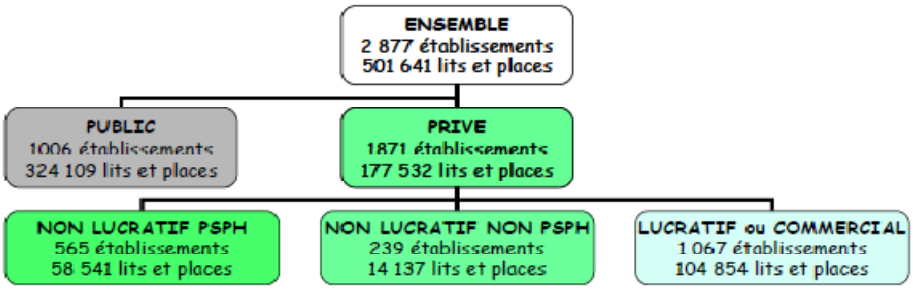

Figure I-1 Situation des établissements de santé en 2007 (source SAE[1] 2007)

I.2.1.1 Les établissements publics

Ils sont placés sous la tutelle des Agences Régionales d'Hospitalisation (ARH). Ils sont organisés en une hiérarchie d'établissements adaptés à la répartition de la France en régions : (1) les Centres Hospitaliers Régionaux (CHR), (2) les centres hospitaliers de villes moyennes, et (3) les hôpitaux locaux. Combes [Combes, 94] précise que l'hôpital est organisé, généralement, en centres de responsabilités : chacun des centres, qu'il soit médical,

[1]**La Statistique annuelle des établissements de santé (SAE)** est une enquête administrative exhaustive et obligatoire auprès des établissements de santé installés en France (métropole et DOM) y compris les structures qui ne réalisent qu'un seul type d'hospitalisation ou qui ont une autorisation pour une seule activité de soins. Les données sont collectées par la Drees (Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques), direction du ministère de la santé et des solidarités.

médico-technique ou administratif est dirigé par un responsable et divisé en unités fonctionnelles. Le secteur public est obligé d'accueillir tout malade. La recherche et l'enseignement font partie intégrante de sa mission [Chaabane, 04].

I.2.1.2 Les établissements privés

Les établissements à but non lucratif relèvent d'associations, de congrégations, d'organismes sociaux (mutuelles ou caisses d'assurance maladie). Certains d'entre eux ont une vocation spécialisée comme les centres régionaux de lutte contre le cancer. Ces établissements sont soumis aux mêmes règles de gestion que les hôpitaux publics ; ils peuvent bénéficier des avantages accordés à ceux-ci.

Les établissements à but lucratif sont la propriété de particuliers ou de sociétés et sont autorisés à faire des bénéfices ; ils ont des règles de gestion et des modes de financement (prix de journée) différents de ceux des hôpitaux publics et des établissements à but non lucratif. Ils sont donc libres de fixer leurs prix et de choisir les activités qui leur semblent les plus rentables. De ce fait, le secteur public a orienté son activité vers les soins aigus, en particulier la chirurgie.

I.2.2 Caractéristiques du SSF

I.2.2.1 Diversité

Le Système de Santé Français (SSF) est mixte, à la fois beveridgien (accès universel aux soins et fiscalisation des dépenses de santé) et bismarkien (assurance maladie liée au travail) [Chodosas, 02]. On y trouve donc :

- un financement selon un principe de contribution basée sur des cotisations patronales et salariales.
- une implication de l'état français dans l'organisation de la gestion administrative et organisationnelle du système de santé, ainsi que dans son financement (grâce à l'impôt), pour la prise en charge des patients et le développement des entités de prise en charge via l'investissement.
- un recours croissant à des assurances complémentaires (privées).
- le dispositif d'accessibilité associé (dispositif qui permet aujourd'hui, même à des non résidants, notamment européens –sous certaines conditions- de venir se faire soigner en France).

Le SSF est caractérisé par sa diversité [DREES[2] ,07]. Selon le critère statut juridique (figure I-1), on note trois grandes catégories d'établissements : établissements publics, établissements privés à but non lucratif et établissements privés à but lucratif. De même, les organisations de ces établissements diffèrent par leurs modes d'organisation et de gestion, de financement et de régulation et de participation ou non aux missions de service public. Cette diversité s'accentue par la variété des statuts des personnels travaillant dans ces établissements. Le personnel de soin est composé d'une part, des médecins, odontologistes et pharmaciens auxquels s'ajoutent les internes et, d'autre part, des sages-femmes, des personnels paramédicaux et des personnels techniques et administratifs. Selon la profession exercée et le statut de l'établissement, les uns sont salariés à temps plein ou partiel, les autres sont des libéraux, rémunérés à l'acte directement par le patient (ou sa caisse d'assurance maladie). La pratique libérale dans les établissements de santé est possible pour toutes les professions dont les actes peuvent être remboursés par l'assurance maladie.

I.2.2.2 Accès au public

Les établissements publics ou privés du service public hospitalier ont pour mission de garantir l'égal accès aux soins qu'ils dispensent [DREES, 07]. Ces établissements sont ouverts à toutes les personnes dont l'état requiert leurs services. Ils doivent être en mesure de les accueillir jour et nuit sans aucune discrimination, éventuellement en urgence, ou d'assurer leur admission dans un autre établissement assurant le service public. L'organisation des différents régimes d'hébergement, selon la volonté exprimée par les malades, se fait dans les limites et selon les modalités prévues par les textes législatifs et réglementaires en vigueur.

Les établissements de santé, publics et privés, doivent assurer non seulement les examens de diagnostic et le traitement des malades, des blessés, des femmes enceintes mais également leur surveillance, en tenant compte des aspects psychologiques du patient. Ils participent également à des missions de santé publique, et notamment à des actions médico-sociales coordonnées, à des actions d'éducation pour la santé et de prévention.

---

[2] **Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques (DREES)** est une direction de l'administration centrale des ministères sanitaires et sociaux. Elle fait partie du service statistique public. Sa mission est de fournir aux décideurs publics, aux citoyens, et aux responsables économiques et sociaux des informations fiables et des analyses sur les populations et les politiques sanitaires et sociales.

I.2.2.3 Financement

Aujourd'hui, on note une certaine forme d'équité dans l'allocation des ressources (égalité public et privé) grâce à la mise en place de la Tarification À l'Activité (T2A) dans tous les types d'établissements français. Avec la T2A, ce sont les activités qui déterminent les ressources. Désormais le financement des hôpitaux sera basé sur les activités effectives qu'ils développent. L'allocation des ressources est fondée à la fois sur la nature et le volume de leurs activités traduisant l'importance des ressources mobilisées pour leur réalisation [Trilling, 06]. L'activité de l'établissement est mesurée et évaluée par le recueil d'informations effectué par les établissements publics ou privés au travers du Programme Médicalisé des Systèmes d'Informations (PMSI). Cet outil permet aussi d'évaluer les coûts de prise en charge des différentes pathologies. Les objectifs des différents types d'établissements de soin ne sont pas les mêmes à la base et donc ceci leur permet de s'orienter fortement vers la spécialisation de l'activité. En substituant une logique de recettes à la logique de dépenses du système actuel, la T2A incite les établissements d'une part à mieux connaître leurs coûts et à les maîtriser. D'autre part, à garantir un bon usage des ressources et à favoriser la qualité et la responsabilisation des acteurs de santé.

Face à ce contexte de budget contraint défini par l'Objectif National des Dépenses d'Assurance Maladie (ONDAM), des restructurations sont imposées dans de nombreux établissements de santé. Par ailleurs, la complexité du système français ainsi que le poids de son financement dans les finances publiques ont amené la France à être dans une démarche continue de réforme depuis plusieurs années.

I.2.3 Le SSF : vers une nouvelle organisation

Le système hospitalier Français a évolué grâce à plusieurs réformes. Ces réformes ont pour objectifs la maîtrise des coûts de la santé, une meilleure qualité de soin et l'amélioration de l'efficacité des systèmes de soin. Ces réformes se sont traduites en France par le plan « hôpital 2012 » succédant ainsi le plan « hôpital 2007 », la tarification à l'activité (T2A), l'accréditation etc. L'accréditation est une procédure qui permet d'obtenir l'évaluation et la reconnaissance de la qualité de leur pratique professionnelle auprès de l'Haute Autorité de Santé (HAS). Le plan hôpital 2007 vise à donner plus de facilités aux professionnels pour la réalisation de leurs projets, à réformer les modes de financement des établissements publics et privés et à leur offrir de nouvelles possibilités de développement. Il y a eu prolongement du plan de modernisation grâce au plan « hôpital 2012 ». D'après le rapport de ministère des

affaires étrangères en Février 2007, le plan « hôpital 2012 » doté de 10 milliards d'euros va permettre de lancer de nouveaux investissements avec 3 priorités : le renforcement des complémentarités entre différents hôpitaux d'un même territoire, la mise aux normes de sécurité et l'informatisation du système hospitalier.

Cette nouvelle organisation doit répondre aux exigences de productivité, d'efficacité et d'efficience dans un contexte de maîtrise des coûts induits. En 2005, la dépense nationale de santé représente 181 milliards d'euros, soit 10,6 % du produit intérieur brut. C'est un des plus fort taux observés en Europe plaçant la France à la 4ème position des 23 pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (OCDE[3]), après les Etats-Unis (15,3 %), la Suisse (11,6 %) et l'Allemagne (10,9 %) [OCDE, 07]. Cette nouvelle organisation doit aussi s'adapter au manque croissant de professionnels de la santé, à l'allongement de l'espérance de vie qui a entrainé un vieillissement de la population (1 Français sur 6 a aujourd'hui plus de 64 ans contre 1 sur 8 il y a trente ans) ainsi qu'à l'accroissement des pathologies chroniques [DREES, 03].

Les établissements de santé publics et privés bénéficient d'une autorisation d'accueil et de traitement des urgences (articles R.6 123- 1 à R.6 123-32 du code de santé publique). Ils peuvent comporter une entité externe de prise en charge d'urgence le Service d'Aide Médicale Urgente (SAMU) et mettre en place des Permanences d'Accès aux Soins de Santé (PASS). Ces derniers sont des cellules de prise en charge médico-sociale, qui doivent d'après le Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie associative, faciliter l'accès des personnes démunies non seulement au système hospitalier mais aussi aux réseaux institutionnels ou associatifs de soins, d'accueil et d'accompagnement social. L'Urgence s'agit ainsi d'une mission essentielle de l'hôpital public dont l'une des caractéristiques est son aptitude à faire face à tous les besoins exprimés par la population quelle qu'en soit la nature [Le Quellec, 00]. L'organisation du système de prise en charge des urgences résulte d'une évolution progressive, dont la première étape a été la création en 1986 des Services d'Aide Médicale Urgente (SAMU) et des centres d'appel téléphonique spécialisés répondant au numéro 15 (dits centres 15). La qualité de l'orientation des patients a été ensuite réformée en distinguant les urgences vitales des autres par les décrets du 9 mai 1995 et du 30 mai 1997. Ces mêmes décrets ont permis d'accroître la sécurité des structures d'accueil.

[3] **OCDE Organisation de coopération et de développement économiques** est une organisation internationale d'études économiques, dont les pays membres, des pays développés, ont en commun un système de gouvernement démocratique et une économie de marché. Elle joue essentiellement un rôle d'assemblée consultative.

Depuis les années 2002-2003, le système hospitalier a subi des mutations: on ne parle plus de malades, ce système est réfléchi en termes d'activité, d'objectifs, d'efficience, d'indices de performance. Avec le nouveau projet « Hôpital, Patients, Santé et Territoires » (HPST) et le regroupement des hôpitaux, il n'est question que de « maîtrise des coûts de production » et de « positionnement face à la concurrence ».

I.3 Le système hospitalier : un système complexe

Le système hospitalier est qualifié comme un véritable système de production de soins dont la mission principale est de prodiguer le meilleur soin au patient. Les constats de terrain sur la complexité de l'hôpital sont nombreux et quotidiens : multiplicité des missions, hiérarchisation, cloisonnement, diversité des métiers, hétérogénéité des équipements et des installations [Pham, 02]. On note aussi, un éventail de professions très large. Les nombreuses professions soignantes possèdent en effet une déontologie, une culture professionnelle et une organisation hiérarchique spécifiques. Aux professions typiquement hospitalières se rajoute en outre une panoplie d'autres métiers non directement rattachés à l'activité de soins (administratifs, techniques, informaticiens, etc.). Enfin, l'activité de soins est intrinsèquement une activité complexe, spécifique à chaque malade, qui se différencie en cela d'une activité de production industrielle classique. La spécificité de l'activité hospitalière est donc elle-même complexe et ne peut que renforcer le caractère complexe des organisations qui en ont la charge. Ainsi, la caractéristique humaine semble avoir des conséquences sur la complexité des opérations de production ainsi que sur leur durée et sur leur qualité. Cette complexité est renforcée par la diversité de la demande et par l'interdépendance des processus de soin (dépendance temporelle, spatiale ou liée au partage éventuel des ressources). Une revue de littérature sur la complexité du système hospitalier est donnée dans le tableau I-1 suivant.

[Minvielle, 96]	relie la complexité des systèmes de soins à la complexité du processus de prise en charge du patient à cause de trois propriétés distinctives. Tout d'abord, il est marqué par une forte incertitude dans son déroulement. A cette diversité, s'associe une variabilité du processus de prise en charge qui est due aux

	caractéristiques cliniques et sociales du patient (comportement du malade), mais également aux conditions de l'environnement et aux modes d'organisation du travail (engagés par l'équipe). Enfin, il y a une intensification de la réalisation du processus de prise en charge, qui est la conséquence directe d'une baisse des durées de séjour, de laquelle résulte un nombre d'admissions plus élevé ; ce qui donne au processus de prise en charge un caractère « *de production à grande échelle* ».
[Franchistéguy *et al.*, 99]	explique cette complexité par le fait que le support physique d'un système de soins est une personne. La complexité est donc liée au caractère humain qu'on peut rarement maîtriser et dont on ne peut anticiper les réactions dans le processus de prise en charge.
[Vigneron, 00]	souligne que le système hospitalier est complexe par la diversité de ses fonctions et de ses corps de métier. En effet, outre les activités de soins réalisées par les médecins et les personnels soignants, l'hôpital assure des fonctions logistiques et administratives.
[Pham, 02]	identifie les causes de la complexité des établissements de soins comme venant de la multiplicité des missions, de la hiérarchisation, du cloisonnement, de la diversité des métiers, et de l'hétérogénéité des équipements et des installations. Selon l'auteur, l'hôpital est soumis à des contraintes et des paradoxes de type court

	terme/ long terme, global/ local.
[Marcon, 04]	renvoie la complexité des systèmes de santé au fait qu'ils reposent sur des ressources humaines possédant de fortes compétences et dotées d'un pouvoir de décision important, et que le patient est à la fois le « produit » et le « consommateur » du soin, tout en étant « producteur » du soin car participant à l'élaboration de la trajectoire de soins.

Tableau I-1 Revue de littérature sur la complexité du système hospitalier

I.4 Enjeux actuels de l'hôpital

Dans le contexte réglementaire actuel, les établissements de santé doivent inscrire leurs activités dans une démarche d'évaluation qualitative pour obtenir la certification V2 auprès de la Haute Autorité de Santé HAS (plan hôpital 2007). Cette évaluation porte sur la qualité de prise en charge des patients et des conditions de sécurité des activités de soins. Elle est obligatoire et conditionne l'activité des établissements de santé. Ils doivent aussi mettre en œuvre le PMSI[4] qui permet d'analyser leurs activités et leurs coûts. S'ajoute à ceci le contexte d'évolution rapide des pratiques médicales, de croissance et de diversité de la demande de soins. Face à ces contraintes, l'hôpital est tenu par de nombreux enjeux. Désormais comme dans toute démarche industrielle, il convient de favoriser le triptyque « coût/qualité/délai ». Le but étant de trouver le meilleur compromis entre ces trois critères hors, lorsqu'il s'agit de la prise en charge de patients, il est évident que le critère qualité domine les deux autres en raison de son lien direct avec la sécurité du patient [Minvielle, 96]. Les changements que connaît l'hôpital aujourd'hui requièrent une mutation dans la prise en charge des patients mais aussi une évolution quant à la maîtrise et la gestion économique de certains services de soins.

I.4.1 Maîtrise des dépenses de santé

Le système de soin français est de plus en plus couteux, on note une augmentation constante des sommes allouées aux dépenses de santé. Ses dépenses sont attribuées

[4] **Programme Médicalisé des Systèmes d'Informations**

essentiellement à la Consommation de Soins et Biens Médicaux (CSBM). D'après les estimations de l'Insee[5] basé sur le travail de la DREES [DREES, 08] en 2008, près de 170,5 milliards d'euros ont été consacrés au financement de la CSBM. Soit, un poids de 79,3% dans la Dépense Courante de Santé DCS (+3,2% par rapport à 2007), qui représente 8,7% du PIB (tableau I-2).

en millions d'euros courants

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
CSBM	115 121	121 730	129 548	137 883	144 863	151 208	157 294	164 241	170 488
Soins aux personnes âgées en établissements	2 931	3 096	3 417	3 733	4 118	4 729	5 200	5 651	6 445
Indemnités Journalières	8 162	8 763	9 617	10 416	10 459	10 343	10 400	10 732	11 327
Prévention	4 095	4 226	4 744	4 974	4 883	4 949	5 175	5 322	5 508
Subvention au système de soins *	1 613	1 648	1 719	1 783	1 957	2 113	2 086	1 863	1 880
Recherche	5 422	5 761	6 275	6 475	6 610	6 821	7 121	7 324	7 427
Formation	817	838	894	931	979	1 014	1 057	1 160	1 252
Coût de gestion du système de santé	11 372	11 723	12 114	12 622	12 910	13 684	14 188	14 621	14 879
Double compte (recherche pharmaceutique)	- 2 641	- 2 773	- 3 108	- 3 301	- 3 311	- 3 398	- 3 810	- 4 023	- 4 163
DCS	146 893	155 012	165 220	175 516	183 468	191 263	198 711	206 889	215 041
Taux de croissance annuel (%)	5,1	5,5	6,6	6,2	4,5	4,2	3,9	4,1	3,9

* Prise en charge partielle des cotisations sociales des professions de santé.

Tableau I-2 Dépense courante de santé [DREES, 08]

Un financement important et croissant depuis plusieurs années pour l'économie française au point qu'il est devenu impératif de mettre en place une organisation plus efficiente et de s'orienter vers une gestion beaucoup plus rigoureuse des ressources dans l'objectif de maîtriser les coûts tout en garantissant l'amélioration de la qualité des soins. La maîtrise des dépenses de santé constitue ainsi un enjeu majeur. Une maîtrise de ces dépenses repose en grande partie sur la maîtrise des modes de production de soins et les choix organisationnels faits par le système de santé.

I.4.2 Amélioration de la qualité des soins

L'évaluation des pratiques, des procédures et des résultats des actes de soins est au centre de la nouvelle politique de santé. Elle couvrira tous les champs : accessibilité, globalité, continuité, utilité, efficience médico-économique voire même évaluation sociologique. Depuis 1996, tous les établissements de santé publics ou privés doivent s'engager dans une démarche de certification. L'accréditation est un processus d'évaluation externe à un établissement de

[5] **L'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee)** est une direction générale du ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.

soins, effectué par des professionnels indépendants de l'établissement et de ses organismes de tutelle, et concernant l'ensemble de son fonctionnement et de ses pratiques. Elle vise à s'assurer que les conditions de sécurité et de qualité des soins sont réunies. Ainsi, les établissements de santé sont dans l'obligation de rendre un service de qualité au meilleur coût. Cette qualité se mesure notamment par rapport à des normes que l'hôpital doit respecter, en matière de matériel, de processus ou de qualification du personnel. La qualité se définit également comme l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites, par l'engagement de la structure hospitalière et des professionnels dans des actions permanentes et systématiques d'amélioration du service rendu au patient. Dans un établissement de santé, mesurer la qualité consiste à vérifier régulièrement la conformité de l'organisation des soins, de l'accueil et autres, au regard de niveaux de performance préalablement définis.

Les démarches qualité, qui concernent l'ensemble des professionnels d'une structure de soins, constituent un enjeu de santé publique, dans la mesure où l'amélioration de la qualité des soins se fait au bénéfice du patient. C'est aussi un enjeu organisationnel, les dysfonctionnements de management mis en lumière par l'autoévaluation doivent être l'occasion de repenser les organisations et un enjeu financier, car la démarche qualité évite des dysfonctionnements coûteux.

La qualité peut être ainsi améliorée de manière significative en adoptant une stratégie intégrée et en ayant une réflexion sur les moyens et les ressources déployées par les différents types d'acteurs et de services [Tlahig, 09].

I.4.3 Optimisation des ressources

Le secteur de la santé est face à une évolution de la demande de soin qui dépend principalement du facteur de vieillissement de la population. S'ajoute à cela une augmentation du niveau de vie qui entraîne une croissance de la demande de soins et fait surgir des exigences du patient sur la qualité des soins et les modes de sa prise en charge. L'offre de soins doit donc suivre l'évolution de la morbidité et des demandes de prise en charge. Les développements de l'ambulatoire, des alternatives à l'hospitalisation, des réseaux ville-hôpital et le déploiement de nouvelles techniques médicales illustrent cette adaptation de l'offre de soins. Par conséquent, l'hôpital se trouve aujourd'hui confronté à une rareté de certaines ressources devenues trop chères ou peu disponibles. Ceci a entraîné une nécessité

d'optimisation des ressources au sein des établissements de santé. D'où le besoin d'adopter des outils de gestion pour une affectation efficace des ressources au sein de l'hôpital.

I.5 Organisation des services d'urgence en France

Le réseau de soins est défini comme étant une collaboration entre les professionnels de santé de différentes disciplines répondant au besoin des patients en matière de santé et d'une prise en charge qualitative. L'objectif du réseau de soin est donc améliorer la qualité des soins tout en garantissant leur continuité ainsi que la maîtrise des coûts engendrés et la coordination des professionnels de santé. Le soin des urgences est une des filières du réseau de soins qui présente le front de la prise en charge des patients. On note dans l'organisation de la prise en charge des urgences en France plusieurs acteurs qui se différencient selon leurs rôles et positions sur le parcours de prise en charge: urgences préhospitalières, l'accueil hospitalier des urgences et l'aval des urgences (figure I-2).

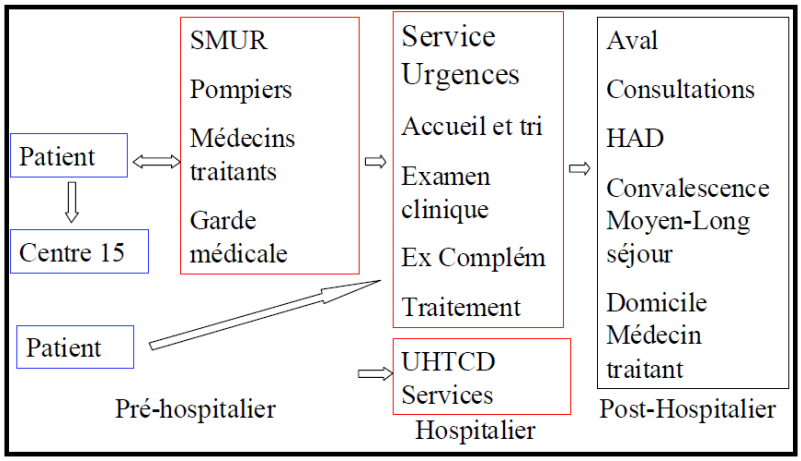

Figure I-2 Organisation de la prise en charge des urgences en France

Cette section est consacrée à l'étude de cette organisation. Nous commençons par définir l'urgence médicale. Ensuite, nous présentons les services d'urgence actuels et ses limites. Enfin, nous nous focalisons sur l'organisation de l'accueil des urgences dans l'hôpital public français.

I.5.1 Définition de l'urgence médicale

La définition de ce qui est qualifié d'«*urgence*» est complexe selon SFMU[6] [SFMU ,08a]. En effet, la notion d'urgence fait l'objet d'une grande ambiguïté. Elle est subjective du point de vue du patient, mais elle ne le saurait l'être pour les professionnels de l'urgence. Ceci signifie qu'entre la perception de l'urgence par le malade (urgence perçue) et la définition médicale de l'urgence par un personnel urgentiste compétent (urgence réelle), l'écart est souvent important. Un écart qui peut être d'autant plus grand que l'urgence d'un cas est jugé relativement à l'urgence des autres [SFMU, 08b]. Afin de mieux comprendre le concept d'u*rgence*, nous proposons d'effectuer une revue des définitions de ce terme, utilisées dans la littérature (tableau I-3).

[Morhain, 97]	L'urgence renvoie à la nécessité impérative de répondre à une situation dans l'immédiateté. L'urgence ne peut être différée. L'illustration la plus explicite est celle de l'urgence médicale où l'intervention ne peut souffrir aucun délai sous peine de mettre en péril les fonctions vitales de l'organisme.
[SFMU, 01]	L'urgence est «*toute circonstance qui, par sa survenue ou sa découverte, introduit ou laisse supposer un risque fonctionnel ou vital si une action médicale n'est pas entreprise immédiatement*»
[ORS Guyane, 02]	L'urgence médicale est définie comme «*un phénomène qui survient de façon brutale et inattendue, qui surprend et inquiète à tort ou à raison l'intéressé et/ou son entourage*»
[Reix, 02]	Affirme qu'il n'existe pas de définition légale de l'urgence et que la mission du système d'aide médicale urgente est définie d'après la loi du 6 janvier 1986 par «*faire*

[6] **Société Francophone de Médecine d'Urgence**

	assurer aux malades, blessés, et femmes enceintes, dans quelque endroit qu'ils se trouvent, les soins d'urgence appropriés à leur état»
[Gayrard, 05]	Définit la prise en charge des urgences par la coopération de tous les acteurs de la chaîne des urgences pour sauver une vie.

Tableau I-3 Quelques définitions de l'urgence

On qualifie d'urgence vitale en médecine, toute situation où la vie du patient est en danger et où il risque de décéder faute de soins rapides et adaptés. L'urgence vitale est, par exemple, la situation dans laquelle le patient doit être transfusé immédiatement pour sa survie sans attendre les résultats des examens immuno-hématologiques, avec donc un risque de conflit immuno-hématologique. Ceci correspond à toutes les situations de choc hémorragique de causes traumatiques ou médicales [Dorez, 02]. Ce type d'urgence doit bénéficier de la prise en charge la plus précoce possible, qu'elle survient dans les services de soins, d'investigations ou dans tout autre secteur accessible au public au sein d'un établissement [SFAR, 04].

Face à n'importe quel type d'urgence, la réponse trop rapide au besoin conduit la plupart du temps à masquer la véritable demande du sujet. Cette situation s'accentue face à une catégorie de patients qui sont les exclus sociaux. Ceci introduit la notion d'urgence sociale. Cette désignation, relative à l'augmentation d'une population d'exclus du tissu social et économique, exprime au sens large une volonté politique de répondre à la situation de celui qui, privé de moyens de subsistance est devenu Sans Domicile Fixe (SDF). L'urgence sociale superpose deux dimensions qui ne s'interpénètrent pas de manière systématique : la préservation des besoins vitaux élémentaires et le processus de l'insertion sociale [Morhain, 97]. Selon la SFMU, les urgences sociales font partie du service public de l'urgence. Celle-ci a souligné l'importance d'accepter tous les patients aux urgences, y compris les plus défavorisés [CSMF, 08].

La médecine d'urgence s'exerce dans les structures de médecine d'urgence qui comprennent [SFMU, 08]: le Service d'Aide Médicale d'Urgence (SAMU), la régulation des appels adressés au Centre 15, le service de Médecine d'Urgence et de Réanimation (SMUR), la Structure des Urgences (SU) et l'Unité d'Hospitalisation de Courte Durée (UHCD).

La structure d'urgence est soumise à une législation. L'exercice par un établissement de santé de l'activité de soins de médecine d'urgence mentionnée au 14 de l'article R. 6122-25 est autorisé selon une ou plusieurs des trois modalités suivantes (Art. R. 6123-1) :

- La régulation des appels adressés au service d'aide médicale urgente mentionné à l'article L. 6112-5.
- La prise en charge des patients par la Structure Mobile d'Urgence et de Réanimation, appelée SMUR, ou la Structure Mobile d'Urgence et de Réanimation spécialisée dans la prise en charge et le transport sanitaire d'urgence des enfants, y compris les nouveau-nés et les nourrissons, appelée SMUR pédiatrique.
- La prise en charge des patients accueillis dans la structure des urgences pédiatriques.

L'autorisation donnée par l'agence régionale de l'hospitalisation précise la ou les modalités d'exercice de l'activité autorisée. Plusieurs syndicats et sociétés scientifiques de médecine d'urgence jouent un rôle important dans la reconnaissance de la médecine d'urgence [Reix, 02] : le SAMU de France, la SFMU (Société Francophone de Médecine d'Urgence), le SUH (Syndicat des Urgences Hospitalières) et l'AMUHF: (Association des Médecins Urgentistes Hospitaliers de France).

Les urgences constituent ainsi une mission essentiellement publique en France qui effectuent accueil et traitement des patients tout en garantissant l'égalité du traitement, accessibilité, permanence et continuité des soins.

I.5.2 Les services d'urgence actuels et ses limites

La prise en charge d'un patient en urgence mobilise les différentes ressources d'organisations de santé : en amont de l'hôpital (le secteur libéral, les SAMU SMUR), au sein de l'établissement de santé (la structure des urgences mais aussi les services administratifs, cliniques et médico-techniques) et en aval de l'établissement de santé (autres établissements). Autour de la structure d'urgence s'articulent des relations complexes qui participent au réseau d'amont et d'aval. Ces relations sont extrahospitalières, intrahospitalières et inter-hospitalières (figure I-3).

L'accès est libre aux soins d'urgence. Les patients arrivent soit de leur propre initiative, soit par un moyen de secours, soit par une prescription du médecin traitant. Les services d'urgence français doivent prendre en charge médicalement tout patient se

présentant, même s'il ne relève pas de l'urgence. D'après les données de la DREES, près de 80% des patients qui se présentent dans les services d'urgence retournent à domicile, après simple consultation 16% ou des examens complémentaires 65%. Cette situation peut être expliquée par le fait qu'aux services d'urgences on peut être soigné 24/24 par des professionnels qualifiés en toute sécurité sans des délais d'attente d'un rendez-vous, ni de frais d'avance dans un endroit proche des plateaux techniques spécialisés.

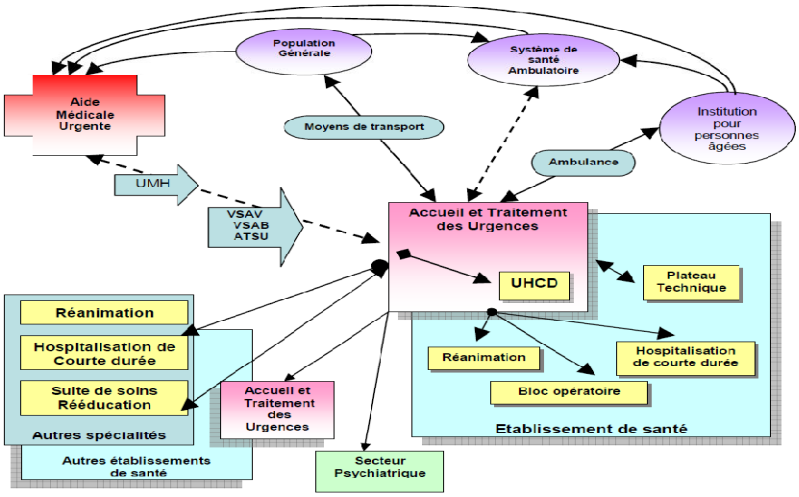

Figure I-3 Les relations hospitalières et extrahospitalières [SFMU, 05]

Dans les systèmes actuels de santé, la structure d'urgence représente un maillon pivot de la chaîne de prise en charge des patients. Considérées comme la porte d'entrée principale et la mission centrale des établissements de santé, les structures d'urgences ont été affectés par les mutations qui ont touché les systèmes hospitaliers. A ces mutations vient s'ajouter l'afflux régulièrement croissant des patients dans les structures d'urgences qui entraîne l'encombrement et des perturbations dans le fonctionnement de ces structures. Les enjeux majeurs de ces changements sont la diminution des délais d'attente jugés excessifs par les usagers, la prévention de la saturation des structures et la garantie de la sécurité et la qualité de la prise en charge des patients. L'amélioration de l'organisation des systèmes de prise en charge des urgences, qui est réglementée par les décrets de 1995 et 1997, est devenue une nécessité [SROS[7] III, 06] dans un contexte où la prise en charge des malades est considérée comme étant l'une des grandes priorités de l'organisation du système de soins [DHOS[8], 03].

[7] **Schéma régional d'organisation des soins**
[8] **Direction d'Hospitalisation et de l'Organisation de Soins**

La multiplicité de nature et de forme des demandes et besoins de soins en urgence explique la complexité d'organisation de l'ensemble [HCSP, 05]. Les flux entrants et les flux sortants à la structure d'urgence permettent de décrire le système de prise en charge des urgences comme un système complexe en interaction. En plus, l'activité au sein des structures d'urgence se caractérise par l'irrégularité de la quantité et de la nature du travail à effectuer [Vassy, 04]. Cette complexité est accentuée dans un contexte où les passages aux urgences ne cessent d'augmenter. Cette situation a deux conséquences : la gestion des flux des patients à l'intérieur du service d'urgence et de l'établissement de la santé devient une tâche difficile pour les personnels et la satisfaction des usagers est loin d'être garantie du fait des temps d'attente qui peuvent parfois devenir excessifs et du manque d'information source d'inquiétude pour les proches. Pour remédier à cette situation, les pouvoirs publics ont décidé d'agir sur l'amont des urgences en créant la permanence de soins en 2003 qui est la coopération entre la médecine hospitalière et la médecine libérale et des conventions entre les Services Mobiles d'Urgence et de Réanimation (SMUR), les Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS), les Services d'Aide Médicale Urgente (SAMU) et les ambulanciers privés. Les pouvoirs publics ont, après la canicule de l'été 2003, mis en œuvre le « plan Urgences » qui a permis de renforcer les moyens des services d'urgences hospitaliers publics.

Depuis la mise en place du Plan Hôpital 2007, cette mission associée aux urgences est prise en charge par les Pôles d'Urgences dont le périmètre va au delà d'un découpage par service ou par unité fonctionnelle de la même discipline (ancienne configuration). Les Pôles (Ordonnance n°2005-406 du 2 Mai 2005) d'Urgences regroupent tous les professionnels / services / spécialités qui interviennent, contribuent à la réalisation des missions d'urgences définies dans le code de la santé publique. Pour les urgences, ces pôles combinent dans un même ensemble cohérent, dans un même projet les services classiques d'accueil et de traitement des urgences, les SMUR, le SAMU, l'anesthésie, traumatologie etc. selon les choix du projet d'établissement.

Malgré ces efforts, le nombre de passages aux urgences a continué à augmenter et les structures d'urgences souffrent encore de plusieurs faiblesses. Les faiblesses les plus ressenties au niveau des structures d'accueil des urgences sont liées à des contraintes structurelles, humaines (effectif et compétence), matérielles (équipements médico-techniques et techniques), médicamenteuses (disponibilité), financières et organisationnelles. Cette structure qui est considérée comme une véritable porte d'entrée de l'hôpital, constitue un

puissant révélateur des insuffisances dans la prise en charge des patients, à l'extérieur comme à l'intérieur de l'hôpital, en amont et en aval de cette structure-clé car les urgences jouent un important rôle complémentaire de la médecine de ville et de ses éventuelles carences. Cette situation se complique encore en raison du manque de structures d'aval, phénomène qui tend à s'aggraver depuis quelques années. L'organisation de l'aval des urgences a pour but d'assurer la continuité des soins dans les services spécialisés à l'hôpital ou par le dispositif de l'hospitalisation à domicile surtout pour les patients âgés et poly-pathologiques de forte dépendance physique ou sociale. Ceci pose le problème de la gestion de l'hospitalisation d'aval par les structures d'urgences et la saturation de leurs Unité d'Hospitalisation de Courtes Durées (UHCD) qui a entraîné l'engorgement de ces structures et l'insatisfaction des usagers.

Face à ces difficultés**,** la structure n'est pas en mesure de garantir l'efficacité et l'efficience de la prise en charge et tout particulièrement dans des situations exceptionnelles telles que les urgences intra-hospitalières et les catastrophes.

I.5.3 Organisation de l'accueil des urgences dans l'hôpital public français

I.5.3.1 Missions spécifiques à l'hôpital

La prise en charge des urgences et des soins non programmés ne saurait être la mission de la seule structure d'urgence. L'ensemble de l'établissement, et à l'échelle d'un territoire tous les établissements de soins, par la mise à disposition, entre autres, de plateaux techniques spécialisés, concourent à cette mission [Coriat et al., 08]. La structure des urgences est la principale porte d'entrée de l'hôpital et constitue donc un passage quasi-obligatoire pour les patients avant leur admission dans la plupart des services hospitaliers. La prise en charge des urgences constitue une discipline à part entière, répondant à une réalité médicale et à un besoin spécifique de Santé Publique [Coriat et al., 08]. Les urgences sont une mission fondamentale de l'hôpital [SFMU, 05b]. La dimension humaine attachée à l'accueil des urgences est, depuis l'origine, au cœur des valeurs hospitalières et elle le restera quels que soient les progrès de la médecine et les performances scientifiques. C'est l'ensemble de l'établissement, dans toutes ses composantes, qui doit concevoir un projet collectif de prise en charge des urgences et du partage entre activités programmées et non programmées [Mattei, 04].

Les missions de la structure d'urgence sont d'accueillir, sans sélection 24h/24, tous les jours de l'année, toute personne se présentant en situation d'urgence y compris psychiatrique et prendre en charge la personne, notamment en cas de détresse et d'urgences vitales. Ces missions, définies dans la Charte de la Médecine d'Urgence [SFMU, 03], dépassent largement la mission première d'accueil et de soin des malades admis en situation d'urgence. Elles couvrent également l'insertion dans le dispositif de veille sanitaire, l'élaboration et application d'outils d'évaluation, la construction des réseaux d'urgence en collaboration avec les autres acteurs de la permanence de soins, la formation et l'enseignement etc. [SFMU, 05].

I.5.3.2 Place institutionnelle des urgences

La SU est signalée, visible et accessible de la porte principale de l'hôpital par un circuit dédié. Son entrée est différente de celle des services médicaux de l'hôpital. Elle est située sur un même niveau et de plein pied. Les liaisons fortes de la SU sont identifiées avant sa conception. Elle est implantée à proximité de la radio du bloc opératoire et si possible à proximité de la réanimation et des laboratoires. L'activité d'accueil et de traitement des urgences est soumise à l'autorisation de l'ARH. Jusqu'à la parution des décrets du 22 mai 2006, les SU se répartissent en 3 catégories selon la gravité et la spécificité des situations des patients : 631 sites d'urgence étaient autorisés dont 38 pôles spécialisés (POSU) prenant en charge des pathologies ou des populations spécifiques, 208 services d'accueil et de traitement des urgences (SAU) aptes à traiter tous les types d'urgences et 385 unités de proximité d'accueil, de traitement et d'orientation des urgences (UPATOU) qui réorientent au besoin les cas les plus difficiles, 105 SAMU et 435 SMUR (dont 64 antennes et 10 SMUR saisonniers) [Grall, 07]. Les décrets du 22 mai 2006 suppriment les appellations SAU, UPATOU et POSU pour les remplacer par les structures d'urgences [Bertrand, 06]. La notion de «structure des urgences» se substitue en effet, à celle de «service d'urgences» et on ne distingue plus que deux types d'autorisation : structure des urgences et structure des urgences pédiatriques. Pour la structure mobile d'urgence, deux types d'autorisation sont prévus : SMUR et SMUR pédiatrique. Le code de la santé publique est modifié en remplaçant dans les articles R. 3221-8, R. 3811-3, R. 6123-73, les expressions «un service d'accueil et de traitement des urgences» ou «une unité d'accueil, de traitement et d'orientation des urgences» par l'expression «une structure des urgences». L'expression «les services d'urgence hospitaliers» est remplacée par l'expression «les structures des urgences hospitalières» dans l'article R. 6313-1.

I.5.3.3 Analyse fonctionnelle

Les fonctions indispensables et indissociables de la médecine d'urgence ont été définies en 2003 par la Société Francophone de Médecine d'Urgence dans la charte de Médecine d'Urgence [SFMU, 03]. Ces fonctions sont les suivantes :

- identifier et hiérarchiser, dès le premier recours aux soins, les besoins inopinés des malades ou blessés à travers leurs demandes et /ou symptômes, selon des méthodes et une expertise adaptée aux conditions d'exercice de la médecine d'urgence,
- mettre en œuvre les premières mesures diagnostiques et thérapeutiques notamment en ce qui concerne les situations à risque vital et /ou fonctionnel,
- réguler et coordonner la prise en charge des malades ou blessés afin de les orienter vers les structures, les filières et réseaux de soins les plus adaptés à leurs besoins, de manière concertée quand cela est nécessaire avec les autres acteurs du système de soins y compris dans le domaine social,
- assurer la surveillance, les soins et l'observation nécessaire jusqu'à leur orientation,
- participer aux missions de prévention, de veille et d'alerte sanitaire dans le cadre du soin urgent individuel ou collectif et répondre aux situations d'urgence collective de tout type au travers des plans de secours établis avec les autorités,
- organiser la formation des professionnels de l'Urgence,
- assurer l'évaluation en médecine d'urgence en s'inscrivant dans une démarche qualité,
- promouvoir et développer la recherche en médecine d'urgence.

I.5.3.4 Les ressources et les moyens de production

Pour fonctionner, la structure d'urgence mobilise de moyens humains et matériels avec des caractéristiques complexes (compétences, horaires de travail/temps de repos, disponibilité, ancienneté dans la thématique des urgences). Ces moyens sont les suivants :

I.5.3.4.1 Les ressources humaines

L'équipe médicale du SU est multidisciplinaires. On y trouve plusieurs types de professionnels qui sont complémentaires. La prise en charge des patients dépend donc de la manière d'utiliser ces différents professionnels. Par conséquent, les performances qualitatives et médicales en dépendent essentiellement à cause de la place de leurs compétences dans la survie du patient. La notion globale et pluridisciplinaire de l'urgence impose une formation

particulière du personnel de la santé et un développement du secourisme à tous les niveaux de la chaîne de secours. Le médecin responsable de la SU doit avoir acquis une formation à la prise en charge des urgences, par une qualification universitaire et par une expérience professionnelle de deux ans dans un service recevant les urgences. Tous les médecins de cette équipe doivent avoir acquis une formation à la prise en charge des urgences soit par une qualification universitaire, soit par une expérience professionnelle d'au moins un an dans un service recevant les urgences. Des étudiants en médecine, des internes ou des résidents peuvent accomplir un stage ou une partie de leur formation dans ce service.

L'équipe paramédicale du service, dirigée par un cadre infirmier, doit être suffisante pour que, vingt-quatre heures sur vingt-quatre, tous les jours de l'année, au moins deux infirmiers diplômés d'Etat soient effectivement présents pour dispenser les soins aux patients. Le service comprend, en outre, des aides-soignants ou éventuellement des auxiliaires de puériculture, des agents de service, un assistant de service social et un agent chargé des admissions. Il est impératif de porter l'effort sur la formation du personnel de l'équipe paramédical qui est toujours aux premières loges et toujours amenés à faire face aux différentes situations d'urgence [SFMU, 05].

I.5.3.4.2 Les locaux

D'après code de santé publique (Article D712-56), le SU est organisé en trois zones (Figure I-4) : une zone d'accueil, une zone d'examen et de soins comportant une salle et des moyens de déchoquage et une zone de surveillance de très courte durée, comportant trois à cinq salles individuelles.

- La zone d'accueil est constituée du SAS[9] d'entrée, d'une salle d'accueil, d'une salle de premiers soins et d'une ou plusieurs salles d'attente des patients.
- La zone de soins est composée d'une salle d'attente des patients couchés et d'un secteur de soins Traumatologique-Médico-Chirurgical. Ce secteur est constitué d'une Salle d'Accueil d'Urgence Vitale(SAUV), d'une salle d'examen et de soins, un poste central, une salle de plâtre, une salle de sutures et un circuit léger[10].
- La dernière zone est l'Unité d'Hospitalisation de Courte Durée(UHCD) qui est composée essentiellement par des lits d'hospitalisation. Cette hospitalisation est de

[9] Un **sas** (Airlock) est un espace fermé, doté (en général) de deux portes isolantes, et servant de passage entre deux zones, en empêchant l'air de passer directement de l'une à l'autre. Dans un hôpital, c'est, de la même manière, une salle intermédiaire qui permet d'entrer ou de sortir d'une zone stérile sans y introduire de microbes ou germes.

[10] Le **circuit léger** (ou ambulatoire) est destiné aux malades consommant peu de temps médical ou paramédical, de ressources et permet un examen rapide.

moins 48h qui permet soit de surveiller un patient avant son retour à domicile soit pour stabiliser son état de santé avant une hospitalisation dans un secteur de soin plus conventionnel.

Par ailleurs, la plupart des structures d'urgence sont équipées d'une salle d'afflux massif, permettant de traiter un grand nombre de victimes en cas de plan blanc[11].

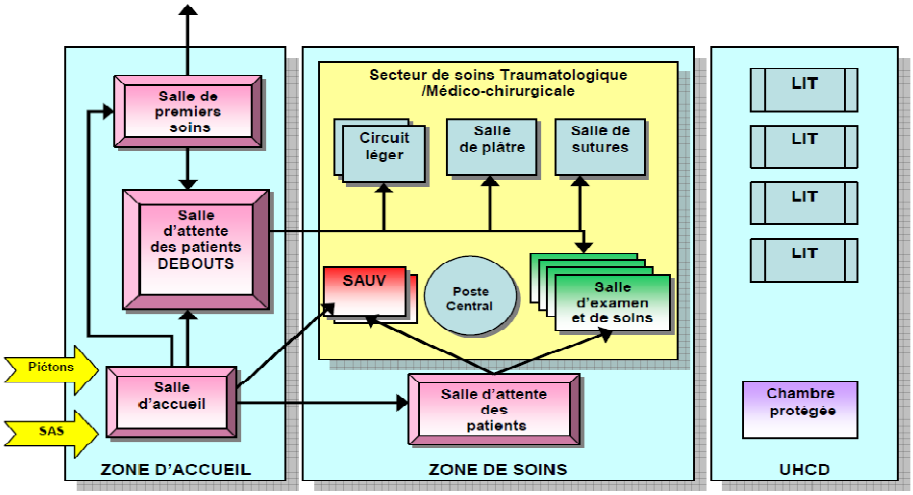

Figure I-4 Architecture schématique [SFMU, 05]

Outre que des locaux, les moyens matériels qu'on peut trouver dans les structures d'urgences sont les médicaments dont la gestion quantitative est importante dans la prise en charge médicale et les moyens informatiques. Ces derniers sont très importants dans le stockage, la gestion et la circulation de l'information liée à la prise en charge.

I.5.3.5 Le système d'information

La nouvelle Tarification à l'Activité (T2A) provoque, dès à présent, une réflexion globale sur l'architecture des Système d'Information Hospitalier SIH. La nécessité de saisie d'activité au plus près de la source et la dématérialisation des échanges d'information avec l'assurance maladie impose, pour tous les établissements, l'acquisition et le déploiement rapide de solutions informatisées de saisie et de traitement de l'activité, aussi bien dans le secteur public que privé. Pour toutes ces raisons, les structures d'urgence décident de mettre

[11] Le **plan blanc**, en France, est un plan d'urgence visant à faire face à une activité accrue d'un hôpital, comme un afflux massif de victimes d'un accident ou d'une catastrophe (se présentant spontanément au service d'urgences ou évacuées dans le cadre d'un plan rouge), d'une épidémie ou d'un événement climatique meurtrier et durable comme une canicule.

en œuvre un système d'information national de vigilance sanitaire alimenté par les services d'urgence ainsi que la mise en place de systèmes d'information supportant les activités pré-hospitalières, internes, et en aval des services d'urgences (les mesures 15 et 16 du Plan Urgences). En conclusion, un système d'information performant est considéré par les professionnels des urgences comme un élément majeur du bon fonctionnement de la structure d'urgences. Il doit permettre une gestion des flux de patients, une gestion médicale des dossiers, une connaissance des disponibilités en lits d'aval et la connaissance qualitative et quantitative de l'activité [SFMU, 05]. Ce système d'informations permettra aussi de promouvoir une gestion plus efficace de notre système de soins (tableaux de bord, programme personnalisé de système d'informations, points indicateur synthétique d'activités, mais aussi informatisation des cabinets médicaux et codage des actes…). Enfin, il sera au centre du partage de la connaissance et de l'expertise (télémédecine).

I.5.4 Le mode de financement des urgences

La tarification à l'activité (T2A) a été mise en place de manière progressive à partir de 2004 pour les établissements de santé titulaires d'autorisation de Médecine, de Chirurgie ou d'Obstétrique (MCO). Pour les établissements également titulaires d'autorisations de lits ou places de Soins de Suite et de Réadaptation (SSR), de psychiatrie ou de long séjour, ils continuent à fonctionner suivant le principe de dotation globale hors activité annexe MCO. En effet, deux modes de financement existaient avant la T2A (la dotation globale et un système de paiement mixte à l'acte et à la journée) ; ceux-ci restent applicables aux activités non soumises aujourd'hui à la T2A (Hini et al., 04).

I.5.4.1 Les modes de financement avant 2004

Le budget global ou dotation globale s'appliquait jusqu'en 2004 à l'ensemble des établissements publics, des établissements privés participant au service public hospitalier et, depuis 1996, des autres établissements privés à but non lucratif ayant opté pour ce régime. Ce dispositif, sous une dénomination différente, la dotation annuelle de financement (DAF), continue à s'appliquer intégralement aux activités de moyen séjour, de psychiatrie ainsi qu'à la part du long séjour financée par la Sécurité Sociale. L'évolution de la dotation globale est encadrée par un taux directeur, les dépenses annuelles d'un établissement ne devant pas dépasser le budget prévisionnel qui lui est alloué (Claveranne et al. ,00).

Le système de paiement mixte à l'acte et à la journée s'applique à tous les établissements relevant du régime de l'Objectif Quantifié National (OQN). Il concerne essentiellement les établissements privés à but lucratif. Depuis le 1er mars 2005 et la mise en place de la tarification à l'activité au sein des cliniques pratiquant le MCO (Médecine, Chirurgie, Obstétrique), l'OQN concerne presque exclusivement les SSR ainsi que les établissements de psychiatrie. Ce régime tient compte du taux d'évolution des tarifs et de l'augmentation prévisionnelle des volumes d'activité décidés chaque année dans ce cadre.

I.5.4.2 Financement des urgences T2A (Source : Mission T2A)

Comme l'ensemble des entités de l'hôpital, les services d'urgence hospitalières, pour les activités des établissements de santé pratiquant le MCO, sont financés dans le cadre de la T2A. Cette T2A est un mode de financement des établissements de santé français issu de la réforme hospitalière du plan Hôpital 2007, qui vise à médicaliser le financement tout en équilibrant l'allocation des ressources financières et en responsabilisant les acteurs de santé. La T2A constitue un mode de financement qui vise à la mise en place d'un cadre unique de facturation et de paiement des activités hospitalières des établissements de santé publics et privés, quels que soient leur statut et leur spécialité, dans lequel l'allocation des ressources est fondée à la fois sur la nature et le volume de leurs activités. En effet, si avant la T2A, les ressources allouées aux établissements étaient reconduites par rapport aux budgets de l'année précédente et donc déconnectées de l'évolution de l'activité, avec la T2A, les ressources sont calculées à partir d'une estimation d'activités et de recettes.

La T2A est appliquée de manière particulière pour les services d'urgence . L'ambition affichée pour ces services était de disposer d'un système permettant de couvrir les coûts de productions, appréciés ou constatés (historiquement) en optant pour des coûts moyens calculés et destinés à gommer les disparités entre les différentes structures d'urgences. Le tout en faisant les hypothèses d'absence d'économie d'échelle dans ces services, du poids primordial des charges de personnels et des charges variables par prise en charge.

Sur la base des travaux effectués par la Mission T2A [Or, 09], on peut considérer que, ces derniers, dans le cadre de la T2A, se retrouvent avec un financement mixte composé essentiellement de trois éléments : le Forfait Annuel Urgences (FAU), le Tarif au Passage (ATU) et la rémunération pour les actes autorisés.

I.5.4.2.1 La dotation ou le Forfait annuel (FAU)

D'abord, une partie du financement est assurée par une dotation annuelle de l'état ou FAU (Forfait Annuel Urgences) pour couvrir l'essentiel des charges fixes minimales, nécessaires quel que soit le niveau d'activité constaté. Parmi ces charges, on peut citer celles liées au personnel, aux matériels etc. Ce forfait fonctionne par palier d'activités. Le Forfait de base en 2004 était calculé sur la base moyenne de 7500 passages, avec un forfait supplémentaire par palier de 5000 passages.

I.5.4.2.2 Le tarif au passage (ATU)

Au FAU, il faut rajouter, une rémunération liée à chaque passage de patient ou tarif au passage (ATU ou forfait Accueil et Traitement des Urgences), sauf pour les passages donnant lieu à une hospitalisation dans le même hôpital (situation qui doit amener, de la part de l'hôpital, une rétrocession du coût engagé par les services d'urgence).

I.5.4.2.3 Les actes autorisés

Enfin comme troisième éléments, il faut rajouter une rémunération des actes effectués sur la base d'autorisations données par la ARH Agence Régionale de l'Hospitalisation sous forme d'honoraires dans le secteur privé, sous forme d'actes comptabilisés dans FICHSUP (fichier reprenant les éléments d'informations sur les actes effectués et transmis à l'ARH) pour le secteur public.

Ce modèle décrit succinctement ci-dessus a déjà été modifié en 2005 parce qu'il ne répondait pas à l'objectif de corréler de manière directe et contrôlée pour l'activité, la rémunération engendrée et les coûts engagés pour la produire. Il sous-finançait les services à faible niveau d'activité, il incitait à atteindre à tous prix le niveau des 12500 passages pour augmenter son FAU et il était fondé sur une base déclarative (difficile à contrôler). Au final, les modifications de 2005 ont porté sur le calcul des FAU, basé depuis sur le nombre d'ATU observés, ou encore sur le premier palier de FAU qui a été élargi afin de mieux couvrir les charges fixes des petits services (passant de 368KE à 500 KE). On peut aussi citer la réduction du niveau d'activité pour passer au palier supérieur, de 5000 à 2500 passages supplémentaires. De même, ce modèle est largement différent du modèle général ou classique parce qu'il mélange un financement forfaitaire, un financement à l'activité (au passage) et un financement sur autorisation. Ce qui complexifie l'approche économico-financière de ces

services, d'autant que ces derniers (devenus pôles) peuvent utiliser des processus auto centrés (cas où le patient entre et sort de l'hôpital par les urgences), des processus imbriqués dans d'autres processus de l'hôpital (soit comme point d'étape d'un processus menant le patient à l'hospitalisation dans un autre service). Dans ces deux cas, la rémunération n'est pas calculée sur les mêmes bases. Dans le premier cas de figure, on assiste à un calcul qui additionne le FAU (une portion) et l'ATU. Et dans le deuxième cas de figure, un calcul de réversion ou de rétrocession de l'hôpital en direction du service d'urgence concerné est effectué. Mais ce calcul est-il juste ? Jusqu'à quel point ? Si l'on accepte l'hypothèse selon laquelle la rentabilité du service nécessite un financement juste du processus de prise en charge, couvrant le coût de production, est-ce que la réversion garantit cette hypothèse. On peut dire que selon les cas, la réponse sera oui ou non. Par contre s'il y a une chose qui ne doit pas changer, c'est l'hypothèse de l'optimisation par la minimisation du coût de production, du coût des processus de prise en charge. Au final, la situation de ces services peut être représentée par la figure I-5 suivante :

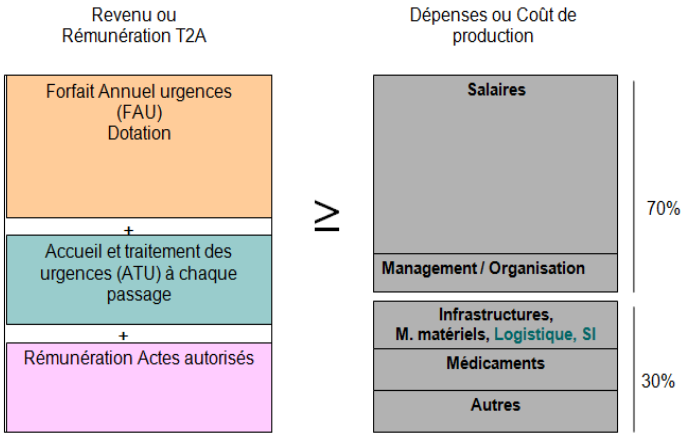

Figure I-5 Représentation de la situation économique des services d'urgence

A cette particularité financière, se rajoute une particularité organisationnelle qui peut poser des questions sur la capacité de ces services à délimiter réellement et de manière précise leur périmètre financier (en termes de dépenses et de ressources). Ces services, en tant que principales portes d'entrées voient leur activité se dérouler au moins des deux façons suivantes.

1. Pour un patient qui arrive aux urgences, la modalité simple concerne une prise en charge totale par les services d'urgence jusqu'à sa sortie. A ce premier type de processus, il est aisé d'associer un coût de production et un revenu T2A.

2. Un deuxième type de processus se caractérise par une prise en charge par le service d'urgences suivie par une hospitalisation dans le même établissement. Dans ce cas de figure, le service d'urgences n'est pas, économiquement et sur le plan organisationnel, considéré comme un prestataire, mais comme une entité de l'hôpital.

On peut donc s'interroger sur la précision de la rémunération effectuée par l'hôpital par mécanisme de rétrocession à ce service et le lien avec la réalité des moyens engagés à travers le coût de production de la prise en charge. Par ailleurs, les services d'urgence sont confrontés à une augmentation de leur charge de travail depuis plusieurs années avec des passages estimés à plus de 15 millions en 2008 (voir paragraphe I.6.2), avec comme élément de complication, le caractère imprévisible ou non influençable de cette charge (activité). Ainsi, ce sont ces différentes particularités, parce qu'elles amènent des questions particulières qui délimitent, pour les services d'urgence, le périmètre des efforts à fournir pour une optimisation de leur gestion économique dans le cadre de la T2A, c'est-à-dire le périmètre des besoins.

Cette réflexion sur l'organisation de la prise en charge des patients au service d'urgences nous a permis de déterminer les différentes problématiques liées à cette organisation que nous citons dans la section qui suit.

I.6 Les problématiques organisationnelles des services d'urgence

Dans le domaine des urgences, les spécialités et les sous spécialités s'individualisent pour répondre de façon plus spécifique et plus adaptée à la demande médicale. On sépare les urgences préhospitalières (Urgentistes et SAMU) des urgences hospitalières (accueil médical, chirurgical, pédiatrique et obstétrical). Par ailleurs, il existe une exigence accrue de qualité de la part des patients et du public. La création de l'Agence Nationale pour le Développement de l'Evaluation Médicale (ANDEM) puis de l'Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé (ANAES), l'accréditation, l'information aux patients en témoignent [ANAES, 00]. L'institution hospitalière et plus généralement le corps soignant cherchent à fournir aux patients des soins de qualité qui tiennent compte des savoirs en cours, des références admises et des recommandations des organismes scientifiques.

Le service d'urgences est particulièrement intéressant comme lieu d'étude de la qualité de l'offre des soins car les difficultés y sont majorées par l'importance des contraintes liées au

caractère aigu des pathologies rencontrées.

Dans cette partie, nous nous intéressons aux principales problématiques organisationnelles des structures d'urgence publiques. Après l'analyse du problème d'augmentation de la fréquentation de structures d'urgence (SU), nous abordons la problématique de la pertinence de l'offre de soins. Enfin, nous achevons par les problématiques liées aux caractéristiques de l'activité médicale aux services d'urgences.

I.6.1 L'augmentation de la fréquentation des services d'urgence

Parmi les différentes filières du soin du système de santé, la filière des urgences se caractérise plus particulièrement par une fréquentation importante et en hausse. Les causes de cet accroissement sont divers [Hugli et al, 06]. Elles sont liées soit aux urgences pré-hospitalières, à l'accueil hospitalier des urgences ou bien à l'aval des urgences. Depuis leur création au milieu des années 60, l'activité des structures d'urgences ne cesse de croître. Baubeau [Baubeau et al., 00] confirme que les passages aux urgences dans les établissements publics a augmenté de 43 % de 1990 à 1998, correspondant à 10 331 000 passages par an en 1998, soit 176 passages par an pour 1000 habitants. Ensuite, le nombre de passages aux urgences dans les établissements publics a augmenté de 64 % entre 1990 et 2001, soit une progression annuelle de 4,6 %. En 2001, les services d'accueil des urgences ont enregistré 13 millions de passages (dont 90% pour le secteur public) contre 7,2 millions de passages en 1990 [DREES, 02]. Entre 2002 et 2003, le nombre des passages aux urgences a augmenté de 3%. En 2003, le nombre annuel de ces passages atteint 14 millions en France métropolitaine et 14,5 millions sur l'ensemble de la France [Carrasco, 06]. Le rapport de l'enquête menée en 2006 par la Cour des Comptes témoigne de cet accroissement a permis de conclure que les services d'urgence sont de plus en plus sollicités par la population et que le nombre de passages dans ces services a doublé en quinze ans (entre 1990 et 2005) pour atteindre 14 millions. En 2007, le nombre de passage a atteint 16,4 millions après 15,4 millions en 2006, soit une augmentation d'un peu plus de 6% (figure I-6).

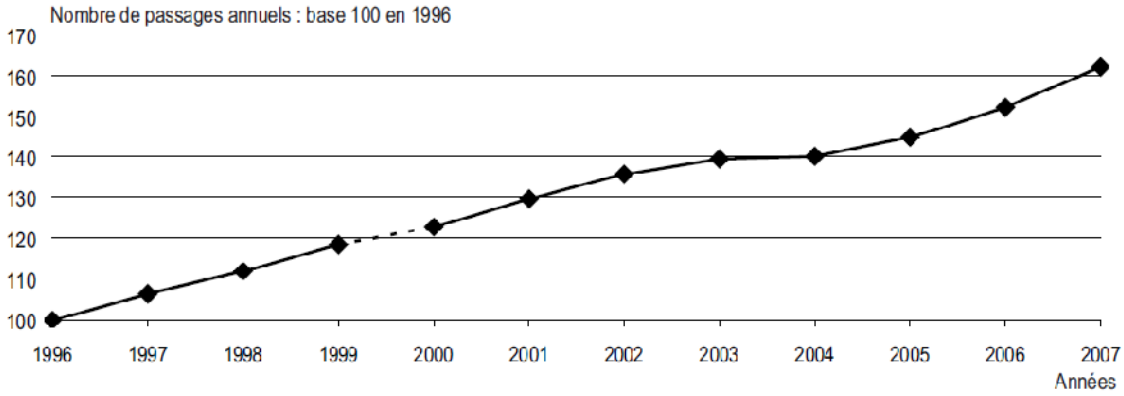

Figure I-6 Evolution du nombre de passages annuels aux urgences

Récemment, la SFMU réaffirme dans son référentiel de compétences Infirmier(e) en Médecine d'urgences que depuis une quinzaine d'années le recours aux structures d'Urgences ne fait que croître. L'évolution de l'activité de ces structures émane de l'organisation sociétale et témoigne de l'émergence progressive d'un nouveau mode de « consommation médicale » [SFMU, 08]. Dans son rapport d'évaluation du Plan Urgences 2004-2008, J.Y. Grall [Grall, 07] a constaté une augmentation des passages aux urgences entre 2004 et 2005 de l'ordre de 3% à 3,5% [DREES, 04] et une activité en augmentation générale en 2005 qui se poursuit en 2006. Dès 2005, on observe une évolution de l'ordre de + 3,5 % [DREES, 06].

En conséquence, les urgences hospitalières sont souvent engorgées et confrontés à un niveau de charge structurellement tendu. Les réponses à la crise des urgences doivent prendre en compte l'organisation et les effectifs des services, mais aussi l'amont avec, l'orientation et la prise en charge des patients, et l'aval des urgences avec l'hospitalisation des malades dans des lits de suite. Cette augmentation de la demande a nécessité une adaptation de l'offre d'autant plus complexe à mettre en œuvre que les acteurs sont nombreux et travaillent dans des cadres différents [HCSP, 05].

L'engorgement des structures d'urgences a entrainé une frustration qui gagne l'équipe soignante et les patients du SU. Le personnel médical rencontre aujourd'hui des difficultés croissantes pour répondre aux demandes de soins imprévues et non programmées dans des conditions satisfaisantes. Le nombre des admissions dans les services d'urgence augmente d'année en année. Au-delà des discussions sur les raisons de cette augmentation et de sa justification, cette constatation signifie, pour les soignants toutes catégories confondues, un accroissement considérable de la pénibilité des tâches de soins, auxquelles s'ajoutent des tâches logistiques et administratives [SFMU, 05]. En conséquence, cet engorgement entraine la dégradation des conditions de travail, les temps d'attente qui s'allongent et le risque de

détérioration de l'état de santé des patients s'accroît. Le patient se sent ainsi dans l'insécurité et le doute et finit parfois par quitter le service avant d'être examiné sans compter le risque de violence à l'égard du personnel qui augmente. Ceci provoque la baisse de la qualité des soins, l'insatisfaction des usagers des urgences et l'inquiétude des décideurs face à cette situation critique.

Mardegan [Mardegan, 05] considère les services d'urgence souvent saturés et pense qu'il faut encore améliorer leur organisation interne. Il précise encore que la situation des urgences intra-hospitalières est aujourd'hui largement dépendante de l'implication de l'hôpital tout entier dans la prise en charge de l'urgence et de l'articulation des services avec les ressources sanitaires de leur territoire, en amont autant qu'en aval. Cette évolution montre que de nouvelles fonctions sont assumées par les urgences : développement d'un mode d'accès spécifique aux soins hospitaliers, réponse à des besoins non satisfaits, notamment pour la prise en charge des populations à faible niveau de ressources, substitution partielle à la médecine de ville. Ainsi, les motifs de fréquentation des urgences évoqués par les patients vont du souhait de bénéficier du support d'un plateau technique, à la gratuité apparente des soins offerts par l'hôpital en passant par la méconnaissance des possibilités offertes par la médecine libérale.

I.6.2 Problèmes liés à l'organisation aux SU

L'engorgement des structures d'urgences compromet leur mission et la qualité des soins et provoque des dysfonctionnements. Ces problèmes sont de type organisationnel et logistique qui comportent [Bertrand, 06] : les transferts inappropriés, les délais d'attente importants dans l'accès aux examens complémentaires, les retards à l'admission, le non suivi de protocoles ou de procédures, les carences dans l'organisation extra hospitalière d'amont (permanence de soins, transports sanitaires…), un refus d'hospitalisation itératifs dans des établissements du territoire ou de la région. Ces dysfonctionnements rendent la tâche du personnel médical du SU et paramédical pénible et leur affectation aux différents secteurs de la structure devient difficile. En effet, l'afflux massif aux urgences a fait apparaître le problème des temps d'attente ainsi que le problème de dimensionnement des locaux et d'affectation du personnel.

I.6.2.1 Temps d'attente

Dans le cadre du Plan hôpital 2007, les travaux de la Mission Nationale l'Expertise et d'Audits Hospitaliers (MEAH) ont prouvé que les temps d'attente et de passage aux urgences peuvent constituer un indicateur de qualité pertinent pour les structures d'urgences. Les temps d'attente doivent combiner urgence médicale, nécessité organisationnelle et satisfaction du patient [Giroud, 02], si bien qu'il est bon qu'un patient non urgent médicalement, même s'il peut attendre indéfiniment sans danger, ne voit pas son temps d'attente trop augmenté. Dans le cas contraire, l'agressivité et des tensions vont naître [Vega, 02]. Le patient, comme tout consommateur et tout individu s'énerve légitimement d'attendre longtemps, dans des conditions pas toujours idéales. Et il est par ailleurs généralement dans une situation d'urgence perçue par lui comme telle, même si l'urgence réelle, évaluée par les professionnels n'est pas en phase avec cette perception. Ceci entraîne des tensions, du fait que le temps de prise en charge réel ne va pas répondre aux attentes et aux exigences qu'il estime nécessaires au vu de l'urgence qu'il perçoit pour lui même. Lorsque les patients ayant eu recours aux urgences sont interrogés, les problèmes les plus souvent évoqués sont un temps d'attente trop long, un retour à domicile sans résolution apparente de la pathologie, la non réalisation d'examens espérés ou au contraire la multiplication d'examens inutiles [Schetgen, 04].

Dans une étude menée par la DREES [DREES, 00] auprès de 3004 personnes ayant fréquenté les services d'urgence hospitaliers, près d'un quart des patients a attendu plus d'une heure avant de voir un médecin, 9% ont attendu plus de deux heures et 45% des patients avaient trouvé la durée de séjour dans le SU excessive.

Différentes étapes de la chaîne de prise en charge des patients aux urgences sont susceptibles d'engendrer des temps d'attente comme l'a étudié la MeaH en 2005. La mise en box participe à 17,4% du temps de passage total. L'attente d'un examen complémentaire (biologique ou imagerie) concerne une part importante des patients (environ 70%) et génère des temps d'attente relativement longs puisqu'elle présente à elle seule 25% du temps d'attente total aux urgences (Figure I-7).

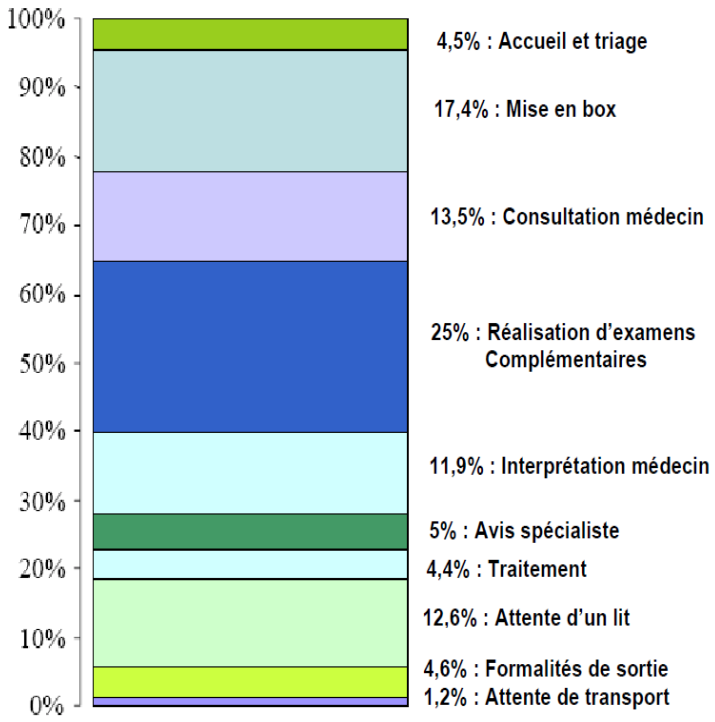

Figure I-7 Temps d'attente aux urgences [MeaH, 05]

Les examens de biologie constituent alors un goulet d'étranglement du processus de prise en charge. Une analyse plus fine de cette étape peut être faite en se basant sur le guide créé par [MEAH, 05]. Même si cette étape peut être représentée de plusieurs manières et varie d'une structure d'urgences à une autre, les différentes phases qui constituent le processus de réalisation des examens biologiques peuvent être représentées par le contour gras sur la figure I-8.

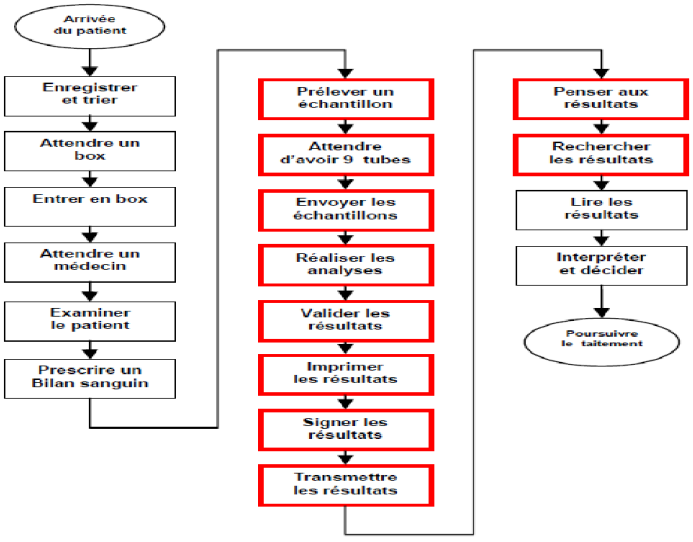

Figure I-8 Exemple de processus de prise en charge [Meah, 05]

Nous constatons en conséquence que la réalisation d'un examen biologique comporte un nombre important d'activités. Cependant, les observations de terrain et l'analyse des flux de patients ont montré que le délai d'attente semble plus lié à la difficulté d'enchaîner les activités, qu'à une dérive éventuelle d'une d'entre elles.

I.6.2.2 Affectation du personnel et des locaux

La gestion de la disponibilité et de l'affectation des ressources est essentielle au SU afin de répondre à la croissance quantitative de l'activité et à la complexité croissante des pathologies. Ce qui demande un effort face au problème du dimensionnement des structures et des moyens du SU.

Affectation du personnel

Les performances qualitatives et médicales du personnel sont essentielles dans le processus de prise en charge à cause de la place de leurs compétences dans la survie du patient et de l'aspect polyvalent de la médecine d'urgence. Le coût de production engendré par les ressources humaines représente 70% dans le cadre des services d'urgences. Si le processus est optimisé, il peut se révéler moins coûteux ou à un coût minimisé. Le processus peut être considéré comme non optimisé parce qu'il génère des coûts supplémentaires, non prévus mais surtout évitables. Dans le cadre des ressources humaines, une affectation non adéquate, peut générer une mauvaise utilisation et donc des coûts d'opportunité[12] pour l'établissement. Coût d'opportunité en termes de ressources humaines qui sont maximisés aussi en termes de coûts des médicaments et d'occupation des moyens matériels.

Le problème essentiel de toute affectation du personnel soignant réside dans les aspects aléatoires et les situations complètement imprévisibles liés au milieu hospitalier. D'après la MEAH [Le Spegagne et al., 05], « le taux de praticiens seniors dans les services d'urgence est le seul critère de ressources des structures d'urgences ayant une incidence directe sur le temps d'attente ». La séniorisation est de plus nécessaire pour les cas graves, les internes pouvant se voir déléguer le traitement de cas simples, le contrôle des seniors sur l'activité des internes se faisant, d'après la SFUM[13] via des procédures écrites, précisant les cas pour lesquels ils

[12] En économie, le **coût d'opportunité** (ou coût d'option) désigne le coût d'une chose estimé en termes d'opportunités non-réalisées ou encore non attendues (et les avantages qui auraient pu être retirés de ces opportunités), ou encore la valeur de la meilleure option non-réalisée. Plus trivialement, c'est la mesure des avantages auxquels on renonce en affectant les ressources disponibles à un usage donné.

[13] **La SFUM ou *Société Française d'Urgences Médicales*** est une société savante qui s'est donné pour mission de veiller au progrès de la connaissance en matière de médecine d'urgence. La SFUM, s'imposant comme

doivent en référer immédiatement à un médecin senior, et les cas où ils doivent rendre compte après leur examen. Mais aboutir un taux de séniorisation élevé n'est pas facile à réaliser surtout dans un contexte de pénurie de personnel médical. Cette situation difficile oblige les services à expérimenter de nouveaux partages des tâches entre les différentes catégories de personnels. Ainsi, il arrive que le personnel infirmier accomplisse des actes qui relevaient traditionnellement des prérogatives des médecins urgentistes et inversement à ça un médecin peut dispenser des médicaments, un acte qui semble être à l'origine du rôle du personnel infirmier. Cette situation résulte d'un contexte exceptionnel d'indisponibilité du personnel médical.

Affectation des locaux

Les locaux et leur affectation diffèrent d'une structure d'urgences à une autre. Si à peu de choses près, on retrouve les mêmes types de locaux, leur agencement architectural peut différer en fonction des choix de circulation effectués pour le patient. Dans le processus de prise en charge, les locaux représentent aussi des lieux de passage d'étape. Un patient situé dans un local est associé à un niveau de prise en charge, à ce qui lui reste à subir ou à ce qu'il a déjà effectué comme parcours. La gestion des lieux d'accueil, des espaces d'enregistrement et de la salle d'attente peut fluidifier le parcours comme elle peut le ralentir. Elle peut optimiser le processus ou l'alourdir.

En effet, une étude réalisée par la MEAH [MEAH, 05], a permis de constater que « la visibilité de la salle d'attente par les soignants et la non utilisation des box comme salle d'attente de résultats d'examens paraissent raccourcir les délais de mise en box ». La MEAH a remarqué également que « la proximité physique et la polyvalence des personnels réalisant l'enregistrement administratif et le triage, l'utilisation d'une classification simple des patients, un interfaçage entre les logiciels administratifs et les logiciels des urgences et une visibilité des patients en salle d'attente contribuent à réduire les délais d'attente de l'étape d'enregistrement et de triage des patients ». Encore, selon la MEAH, la sectorisation des locaux des urgences en fonction du degré de gravité des pathologies prises en charge permet de réduire les temps d'attente et de passage des patients.

organisme de formation médicale continue, met en place des congrès et des séminaires et travaille à la recherche d'outils d'évaluation propres aux services d'urgence.

I.6.3 Problèmes liés aux caractéristiques de l'activité médicale au service d'urgence

I.6.3.1 Des pics d'activité

L'activité médicale d'urgence est très difficile à planifier du fait même de sa nature. On la retrouve dans les services d'urgences médicales ou chirurgicales bien sûr et aussi dans les unités de soins intensifs et de réanimation. Une des caractéristiques de l'activité au SU réside dans le fait qu'elle présente très souvent des pics d'activité de deux types :

- les pics d'activité intrinsèques au service. Ils dépendent des modifications de l'état clinique des patients. L'instabilité de l'état physiologique de ces derniers impose souvent une adaptation dynamique de l'organisation des soins. Au fur et à mesure du déroulement de la journée, certaines tâches prévues deviennent inutiles, d'autres extrêmement urgentes, d'autres enfin s'ajoutent à celles déjà prévues. L'instabilité de l'état physiologique des patients qui caractérise précisément les services d'urgence et de réanimation explique une partie de l'imprévisibilité de l'activité.
- les pics d'activité extrinsèques correspondent à l'admission de nouveaux patients dans ces services. Par définition, les admissions dans les services d'urgence ne sont pas programmées et par conséquent, le flux des malades vers le SU est irrégulier. Cette irrégularité empêche toute planification a priori et pose des problèmes difficiles d'organisation aux responsables de ces unités.

I.6.3.2 Des intervenants nombreux

De nombreux professionnels interviennent autour du malade et doivent échanger une quantité importante d'informations afin de coordonner leurs actions. Comme l'activité de soins ne peut s'interrompre, même la nuit, la continuité des soins est assurée par le relais de plusieurs équipes. Elles se répartissent les heures de travail en constituant plusieurs roulements. On peut noter que les systèmes de « roulements » des médecins ne correspondent pas à ceux des infirmiers. Les médecins travaillent le plus souvent sur un rythme de 2 roulements, les infirmiers de trois. De ce fait, les heures de relève des uns et des autres sont généralement différentes. Pendant la durée d'un roulement, chaque patient est confié à 3 catégories d'acteurs : médecin, infirmier et aide-soignant. Cette affectation n'empêche pas de constater fréquemment des permutations entre personnes ayant des fonctions identiques ou proches : un médecin « junior » va demander à un « sénior » de le remplacer pendant une

période donnée ; une infirmière va reporter sur sa collègue de temps propres à cet acte. Evidemment, ces permutations ne sont possibles que parce qu'il existe un recouvrement des compétences des différents membres de l'équipe soignante. Aux cotés des intervenants du service, d'autres acteurs, externes, peuvent être sollicités occasionnellement en raison de leurs compétences spécifiques. La multiplicité des intervenants observée autour d'un patient rend la coordination des acteurs particulièrement importante aussi bien lors du changement des équipes que pendant la durée d'un roulement.

I.7 Conclusion

Le service d'urgences est une organisation complexe. Les sources de la complexité hospitalière sont essentiellement la multiplicité des missions, la hiérarchisation, le cloisonnement, la diversité des métiers, l'hétérogénéité des équipements et des installations etc. Cette complexité est aggravée par le caractère complexe de l'activité de soins. Contrairement à l'activité de production industrielle classique qui est une activité connue à l'avance, l'activité de soins est une activité spécifique à chaque malade et ne peut pas être toujours programmée à l'avance. A cette complexité s'ajoute la difficulté de cerner le processus de soins qui est caractérisé par une durée variable selon les cas et une interaction permanente entre ses différentes étapes. La spécificité de l'activité hospitalière est donc elle-même complexe et ne peut que renforcer le caractère complexe des organisations qui en ont la charge.

Dans ce chapitre, nous avons introduit l'organisation des systèmes hospitaliers en mettant le point sur la complexité inhérente à ces systèmes. Nous avons introduit également l'organisation de la prise en charge des urgences en France et détaillé en particulier l'organisation de l'accueil des urgences auquel nous nous intéressons dans ce travail. Nous avons enfin abordé les principales problématiques organisationnelles des structures d'urgences en France afin de positionner nos travaux d'optimisation au sein de ce service. La réflexion sur ces problématiques et sur les principaux enjeux d'amélioration nous a permis de fixer l'objectif de cette thèse dédiée à mettre en place un outil d'aide à la décision au sein du service d'urgences dont l'intérêt est la minimisation de temps de passage afin d'améliorer la qualité du processus de prise en charge. Nous proposons donc une nouvelle approche intégrant de façon conjointe la modélisation à base d'agents et l'optimisation en termes de

temps d’attente et d’affectation des ressources. Ainsi, un état de l’art sur les différents outils utilisés dans nos approches de résolution est présenté dans le deuxième chapitre.

Chapitre II
Les systèmes Multi-agents et l'ordonnancement dans le domaine de la santé

II.1 Introduction

Nous avons démontré dans le chapitre précédent le besoin de nouvelles stratégies de modélisation et d'optimisation dans les systèmes hospitaliers afin de leurs apporter des gains significatifs en terme d'efficacité et de productivité par la mise en place d'organisations plus efficientes, tout en veillant à l'amélioration de la qualité des soins. L'application de méthodes scientifiques issues du domaine du génie industriel constitue une excellente approche pour atteindre cet objectif même si les domaines industriel et hospitalier sont similaires sur de nombreux points, ces derniers diffèrent sur bon nombre d'éléments cruciaux : nous ne parlons pas de produits et de machines, mais de patients et de médecins.

Les qualités accordées aux Systèmes Multi-Agents (SMA) en tant que support de modélisation de systèmes de production de soins sont énumérées dans de nombreux travaux, parmi lesquels [Bartelt et al., 02, Paulussen et al., 03]. C'est leur puissance descriptive qui rend les SMA si populaires pour l'appui à la santé, dans un domaine où le besoin de disposer d'outils supportant un dialogue à la fois entre les disciplines et entre les chercheurs et les usagers est fort.

Ce chapitre est organisé de la façon suivante : dans une première partie, nous présentons un état de l'art sur les systèmes multi-agent et leur application dans le domaine de la santé. Ensuite, nous exposons un état de l'art sur les problèmes d'ordonnancement et d'affectation des ressources humaines ainsi que sur la résolution de ce genre de problème dans le domaine hospitalier.

II.2 Etat de l'art sur les systèmes multi-agents

II.2.1 Introduction

Les agents autonomes et les Systèmes Multi-Agents (SMA) représentent une nouvelle façon d'analyser, de concevoir et d'implanter des systèmes informatiques complexes. Les agents sont utilisés dans une variété d'applications sans cesse croissante. Lorsqu'on aborde ce domaine, il est sans doute nécessaire de commencer par définir les termes «agents», «systèmes à base d'agents» et «systèmes multi-agents». Or, lorsque l'on recherche la définition de ces termes dans la littérature, on s'aperçoit que les définitions sont sensiblement différentes selon les auteurs. Nous utiliserons celle qui est le plus communément admise par la communauté des chercheurs français. La classe des applications concernées par les SMA s'élargit de plus en plus. Pour certains chercheurs, il s'agit d'une nouvelle étape dans la modélisation des applications, qui suit celle du paradigme objet. Nous n'entrerons pas dans ce débat mais nous nous contenterons de présenter le domaine SMA dans ce chapitre. Les systèmes multi-agents (SMA) sont des systèmes informatiques distribués. Comme la plupart des systèmes distribués, ils sont composés d'entités informatiques qui interagissent entre elles. A la différence des systèmes distribués classiques, les entités qui les constituent sont «intelligentes». En effet, le domaine des systèmes multi-agents est issu du domaine de l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD). Dans ce chapitre, nous décrivons les concepts qui découlent du domaine de recherche que constituent les systèmes multi-agents. Nous donnerons un état d'avancement des travaux sur ce domaine avant de conclure sur les possibilités et les voies de recherche qu'il offre.

II.2.2 Concepts et définitions

Cette section va nous permettre de présenter l'ensemble des concepts nécessaires à l'étude du domaine des systèmes multi-agents, qui sont issus du domaine de l'IAD. Ce domaine permet de modéliser un système informatique sous forme d'entités autonomes qui vont coopérer pour résoudre un problème complexe difficile à traiter d'une manière centralisée. Les agents autonomes et les systèmes multi-agents ont donné lieu à une nouvelle façon de voir, d'analyser, de modéliser et de concevoir les systèmes informatiques complexes. Les systèmes multi-agents reposent sur les concepts d'agents, d'organisation d'agents, d'interaction entre agents et sur la communication entre eux. Nous présentons dans cette section l'ensemble de ces concepts tels qu'ils ont été définis dans la littérature.

II.2.2.1 La notion d'agent

L'agent représente le composant de base des SMA mais a donné lieu à des utilisations très diverses. La définition la plus communément admise en France est celle donnée par Jacques Ferber [Ferber, 95] et reprise par Alain Cardon [Cardon, 00]: «*on appelle agent une entité réelle ou abstraite qui est capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, qui dispose d'une représentation partielle de cet environnement, qui, dans un univers multi-agent, peut communiquer avec d'autres agents et dont le comportement est la conséquence de ces observations, de sa connaissance et des interaction avec les autres agents*». Cette définition très large pose la notion d'agent comme une entité d'action définie à la construction d'un système et qui opère dans le cadre d'un problème distribué bien posé. Bien que la définition donnée par J.Ferber soit reprise par A.Cardon, nous pouvons voir qu'elle aboutit à des principes de modélisation et de conception de SMA complètement différents. Dans le premier cas, nous pouvons citer les travaux de A.Drogoul [Drogoul,93] qui sont basés sur le principe d'une distribution naturelle du problème posé: un agent correspond à une entité du monde réel. Dans le second cas, on citera les travaux d'A.Cardon et de Franck Lesage [Cardon, 98a] [Cardon, 97] [Cardon et al., 97a] [Cardon et al., 97b] [Cardon et al., 98] [Lesage, 00]. Dans ces derniers travaux, on va chercher à identifier des entités qui ne font pas partie du monde réel mais qui vont permettre une agentification du problème. Cette approche peut permettre d'envisager l'agentification de tout problème complexe par identification de structures de traitement plus simples. Une autre définition a été proposée par Jennings, Wooldridge et Sycara dans [Jennings et al., 98]: «*Un agent est un système informatique, situé dans son environnement, et qui agit de façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu*». Par ***situé***, ils entendent que l'agent reçoit des informations de son environnement par des capteurs et qu'il peut agir sur ce dernier afin de le modifier. L'autonomie d'un agent signifie qu'il peut agir sans avoir besoin de l'intervention d'un humain ou d'un autre agent et qu'il a le contrôle de ses actions et de ses états internes. Enfin, un agent est flexible signifie [Wooldridge et al., 95] que:

- il est capable de percevoir des changements dans son environnement et d'y répondre en temps limité (réactivité);
- ses actions ne se limitent pas aux réponses à des modifications d'environnement, mais qu'il doit faire preuve d'opportunisme, de comportement dirigé par des buts et qu'il doit pouvoir prendre des initiatives au moment opportun (pro-activité);

- il doit interagir avec des humains ou d'autres agents artificiels si nécessaire afin de résoudre ses propres problèmes et qu'il doit être capable d'aider les autres dans leurs activités (sociabilité).

A partir de ces définitions et pour résumer, on peut extraire plusieurs caractéristiques ou propriétés d'un agent. Un agent est:

- situé: il évolue dans un environnement;
- autonome: il a la capacité d'agir sans aucune intervention extérieure;
- actif, dans ce cas il peut être:
    - réactif: il réagit aux changements de son environnement dans un temps limité,
    - pro-actif: il est capable de prendre des initiatives sans qu'on le sollicite,
    - social: il communique avec le monde qui l'entoure (des êtres humains ou d'autres agents.)

II.2.2.2 Typologie des agents

Il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus pour définir ce qu'est un modèle d'agent, trois principales architectures sont couramment utilisées dans les SMA: les architectures d'agents réactifs, les architectures d'agents cognitifs et les architectures d'agents hybrides.

- **Agents réactifs :** qui répondent à la loi de stimulus/action. Leurs comportements sont régis par une série de règles qu'ils mettent en œuvre en réponse aux stimuli de l'environnement. Ces agents ne possèdent pas de représentation explicite de leur environnement. De plus, ils ne disposent pas de mémoire ni de buts explicites et utilisent un protocole et un langage de communication réduit. Les agents réactifs ne possèdent pas un comportement individuel intelligent, mais le comportement qui émerge de leurs interactions peut être "intelligent". La simulation constitue un domaine privilégié pour l'utilisation des systèmes d'agents réactifs, [Bousquet et al., 01].

- **Agents cognitifs :** sont des agents réfléchis. Leurs actions sont souvent le résultat d'une planification et d'un raisonnement rationnel qui se base sur un ensemble de connaissances sur leur environnement, sur les autres agents et sur eux-mêmes [Mandiau et al., 02].

- **Agents hybrides :** l'approche de conception d'agents hybride tente de répondre par l'intégration, à la diversification des activités qui sont réalisées par un agent. Cette approche préconise la décomposition modulaire des comportements afin d'assurer une gestion plus efficiente des ressources de l'agent. Un agent hybride est une architecture d'agent qui combine un système réactif à un système cognitif. Le système réactif assure la réalisation des activités de type réflexes en réponse aux stimuli de l'environnement. Ces activités ne nécessitent pas la mise en œuvre de raisonnements complexes. Le système cognitif assure la réalisation d'activités basées sur la planification et la délibération, nécessitant la mise en œuvre de raisonnements complexes [Labarathe, 06].

II.2.2.3 Une organisation d'agents

Un agent existe rarement seul: il fait partie d'une organisation dans laquelle il interagit avec d'autres agents. Nous donnons tout d'abord une définition d'une organisation au sens général avant de préciser ce que l'on entend par une organisation d'agents. Ensuite, nous présentons les différents types d'Organisation Multi-Agent (OMA).

II.2.2.3.1 Définitions

Une organisation: définition générale

Le terme d'organisation est employé dans des contextes très divers. Il peut s'agir par exemple de l'organisation d'une conférence scientifique ou encore on peut l'employer en parlant d'une organisation politique ou de tout autre type d'organisation. Attachons nous au second emploi d'organisation qui correspond le plus souvent à un regroupement de personnes. Ce qui caractérise les organisations de ce type, c'est le groupement de personnes ayant un objectif commun.

Une organisation d'agents: définition

En général, certains systèmes multi-agents pouvant être vus comme un ensemble de nœuds, contenant un ou plusieurs agents pouvant avoir des objectifs communs ou propres, reliés par les flux de données [Adam, 00]. Cet ensemble peut évoluer au cours du temps tant en quantité d'agents qu'en qualité (c'est à dire que la nature des agents peut changer, ils acquièrent de nouvelles connaissances, de nouvelles capacités). Une organisation d'agents peut donc évoluer au cours du temps: s'agrandir, s'adapter aux situations, etc.

II.2.2.3.2 Typologie des Organisations

En se basant sur les travaux d'ADAM, [Adam, 00], nous pouvons classer les organisations multi-agents comme suit :

- **Les OMA à structure hiérarchique :** ce sont des structures rigides où le contrôle est centralisé sur un seul agent qui communique des ordres à des exécutants. L'environnement est schématisé par plusieurs niveaux hiérarchiques. Et un exécutant peut être un chef hiérarchique pour un niveau inférieur. Ce type d'OMA vise à satisfaire un objectif unique imposé par l'agent chef hiérarchique (Figure II-1).

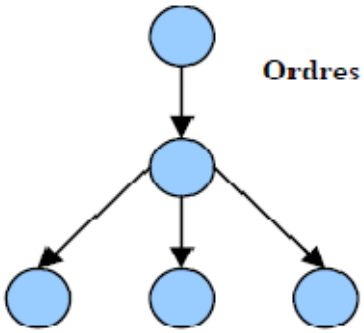

Figure II-1 OMA à structure hiérarchique

- **Les OMA à structure hétérarchique :** ce type de structure se décompose, à son tour, en trois catégories de types ***marché***, ***communauté*** et ***société.***
  - *Les organisations de type marché :* ces organisations sont faiblement décentralisées puisqu'elles présentent plusieurs coordinateurs possibles dans un même niveau, pour différents agents exécutants. Le contrôle est alors décentralisé sur les différents agents coordinateurs qui visent différents objectifs opérationnels (Figure II-2).

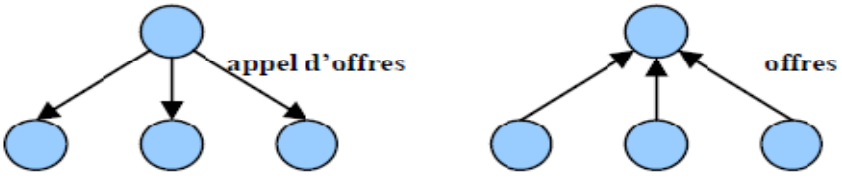

Figure II-2 OMA à structure de marché

  - *Les organisations de type communauté :* où le contrôle est distribué sur les différents agents qui possèdent les même capacités et qui partagent le même

niveau de contrôle. Les interactions dans ce type d'organisation se résument donc à des échanges de flux de données (Figure II-3).

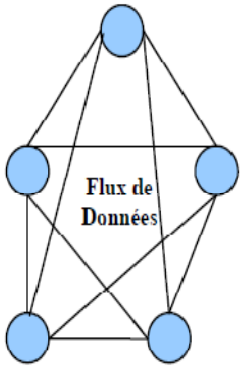

Figure II-3 OMA à structure de communauté

- *Les organisations de type société :* sont le croisement entre l'organisation hiérarchique et l'organisation de communauté, avec des règles d'interaction à préciser (Figure II-4). C'est une structure décentralisée où le contrôle est partagé par plusieurs unités qui n'ont pas forcément les mêmes capacités. Cette organisation correspond parfaitement à l'OMA proposée dans le chapitre 3.

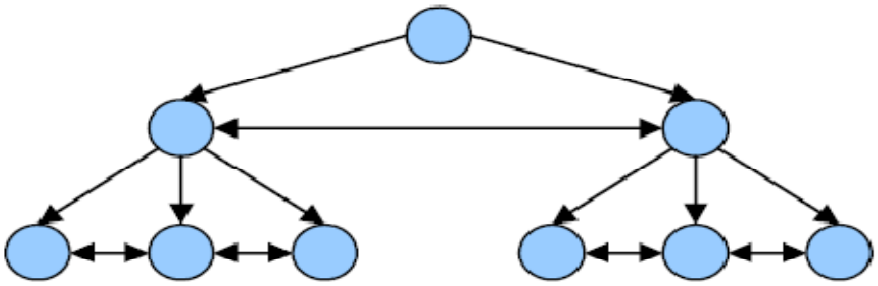

Figure II-4 OMA à structure de société

II.2.2.4 Interactions entre agent

La notion d'interaction est au centre de la problématique des SMA [Ferber, 95]. Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Les interactions s'expriment ainsi à partir d'une série d'actions dont les conséquences exercent en retour une influence sur le comportement des futurs agents.

Les situations sont diverses et variées: l'aide d'un robot par un autre, l'échange de données entre serveurs informatiques, l'utilisation d'une imprimante par deux programmes simultanément, la répartition de charge sur plusieurs processeurs, etc. les interactions sont non seulement la conséquence d'actions effectuées par plusieurs agents en même temps, mais aussi l'élément nécessaire à la constitution d'organisations sociales.

II.2.2.4.1 La communication entre agents

La communication dans les systèmes multi-agents est à la base des interactions et de la création des organisations dont nous avons parlé précédemment. Sans la communication, un agent n'est qu'un individu isolé, sourd et muet qui ne fait qu'agir sur lui même. La communication permet aux agents d'échanger des informations, des demandes de services, etc. Elle permet aussi à un agent d'agir sur un autre en lui fournissant des informations qui auront pour conséquence la remise en question de son comportement ou encore en lui demandant de modifier son comportement.

La communication entre agents peut revêtir diverses formes. Il existe deux principaux langages de communication KQML et ACL qui ont été abordés afin de normaliser la communication entre agents.

- KQML (Knowledge Query Manipulation Language) développé en 1993 par le consortium DARPA-KSE (Knowledge Sharing Effort), [Finin et al., 94].
- ACL (Agent Communication Language) proposé en 1997 par la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), [FIPA, 97].

KQML et ACL se distinguent au niveau de la sémantique des actes du langage utilisés. En effet, le langage ACL fortement inspiré des travaux de KQML, propose un langage auquel s'ajoute la définition de protocoles d'interactions [Koning et al., 01].

Lorsque deux agents vont communiquer, leur objectif est d'échanger des informations mais avant tout de se comprendre. Donc, quelque soit le langage ou la forme de communication, l'importance réside dans la possibilité pour un agent de pouvoir comprendre les autres agents. Dans la majorité des cas, la communication se fait par envoi de messages et parfois par envoi de signaux ou stimuli dans l'environnement [Drogoul, 93]. Un exemple de ce type de langage est donné dans la suite.

II.2.2.4.2 Structure d'un message ACL

Les méthodes de communication par envoi de messages structurés dans les systèmes multi-agents reposent sur la théorie des actes de langage [Austin, 62] qui stipule que la communication est une forme d'action (puisqu'elle modifie les connaissances, les croyances, les buts ou les intentions de l'autre). Dans les systèmes multi-agents, l'attention est portée sur la partie illocutoire de l'acte de langage et la structure des messages reprend la proposition de Searle [Searle et al., 85] de séparer performatif et contenu propositionnel.

Paramètre du message	Rôle du paramètre
Sender	Identifiant de l'agent émetteur
Receiver	Adresse du ou des agents destinataires du message
reply-to	Identifiant de l'agent auquel doit être envoyé une réponse
performative	Performatif de l'acte de communication
Content	Contenu de l'acte de communication
Language	Langage utilisé pour décrire le contenu
Encoding	L'encodage de caractères utilisé
Ontology	Ontologie utilisé pour définir les concepts du contenu
conversation-id	Identifiant de la conversation
Protocol	Identifiant du protocole utilisé pour la conversation
reply-with	Numéro du message dans la conversation
in-reply-to	Numéro du message auquel celui-ci répond
reply-by	Le délai de réponse pour ce message

Tableau II-1 Structure d'un message dans la norme FIPA 00037.

Un message, en communication directe, doit donc au moins indiquer l'agent destinataire du message, le contenu propositionnel et le performatif. La proposition de la FIPA, présentée dans le tableau II-1, définit un ensemble de champs pour les messages structurés. Certains champs peuvent être superflus selon le contexte considéré. Par exemple, dans un SMA asynchrone où l'environnement n'offre pas de service spécifique pour la

synchronisation, la pertinence du champ ***reply-by*** devient très discutable, dès lors que chaque agent dispose de sa propre horloge. De même, les champs ***encoding*** et ***language*** sont relativement peu utilisés, la plupart des travaux faisant l'hypothèse que les agents communiquent en utilisant le même support syntaxique.

La FIPA propose de plus 22 performatifs de base munis d'une sémantique bien définie (en utilisant une logique ***Belive-Desire-Intention*** BDI [Rao et al., 95] augmentée d'opérateurs d'incertitude), avec l'hypothèse que le contenu est en logique propositionnelle.

En pratique, les programmeurs de SMA utilisent surtout les performatifs *request*, *query-if* et *inform*. En effet, les opérations de coordination au sein d'un SMA nécessitent avant tout de pouvoir déléguer des tâches (*request*) ou de s'informer de l'état de l'autre agent (*query-if* ou *query-ref*). Comme nous allons le montrer dans la prochaine section, nos hypothèses de travail nous ont conduit à définir d'autres performatifs que ceux proposés par la FIPA.

II.2.2.4.3 Coordination d'agents

Ferber [Ferber, 95], propose la définition suivante pour la coordination : *« La coordination des actions, dans le cadre de la coopération, peut être définie comme l'articulation des actions individuelles accomplies par chacun des agents de manière à ce que l'ensemble aboutisse à un tout cohérent et performant. Il s'agit ainsi de disposer dans l'espace et le temps, les comportements des agents de telle manière que l'action du groupe soit améliorée soit par une augmentation des performances, soit par une diminution des conflits. La coordination des actions est donc l'une des principales méthodes pour assurer la coopération entre agents autonomes ».* La coordination permet donc d'éviter les situations de conflits par la **négociation** pour les agents antagonistes (ayant des buts et des objectifs contradictoires) et d'améliorer l'efficacité et l'utilité de chaque agent par la **coopération** pour les agents non antagonistes.

II.2.3 Principe de programmation orientée agent

Dans la section II.2.2, nous avons présenté les différentes notions concernant les agents et les SMA. Ces notions sont celles sur lesquelles nous fondons nos travaux. Elles peuvent apparaître assez abstraites et doivent donc être ramenées dans un cadre beaucoup plus concret qu'est celui de la conception d'applications informatiques. Dans cette section, nous

décrivons ce que peut être la programmation de SMA à travers la notion de programmation orientée agent.

Les applications reposant sur le paradigme multi-agent doivent permettre d'exprimer des caractères radicaux, tels que la réification de la notion d'émergence, la propriété de reproduction auto-contrôlée de groupes d'agents et le comportement non linéaire [Cardon, 98b]. La conception d'applications informatiques relève aujourd'hui d'une démarche basée sur les principes du Génie Logiciel dans son approche orientée objets. Il existe en effet de nombreux langages à objets et des méthodes telles que UML [lai, 97] [Muller, 97] utilisent le concept objet comme entité de base de la modélisation. La démarche de modélisation par objets se fonde sur un priori qui restreint le domaine des systèmes que l'on y modélise. En effet, le système, est, dans l'approche objet, considéré comme fonctionnellement bien décomposable. Le problème qui se pose alors est celui de l'agentification. Ce terme désigne le passage de la modélisation d'un système reposant sur le paradigme agent vers la réalisation de ce système. Pour en terminer avec la programmation orientée agent, nous citerons les travaux de Yoav Shoham [Shoham, 93] qui propose un langage de programmation orienté agent de la même manière qu'il existe des langages de programmation orientés objets. Il s'agit de considérer que l'on programme des agents à l'aide d'éléments de haut niveau tels que des buts, des choix, des compétences, des croyances, etc. Et que les types de messages que les agents s'échangent se réfèrent à des mécanismes de communication de haut niveau eux aussi, en définissant des messages d'informations, de requête, d'offre, de promesse, de refus, d'acceptation, etc. Malgré tous ces travaux, il n'existe pas encore de langage de programmation orienté agent qui serait l'équivalent de langages tels que C++ ou Java dans le monde des langages orientés objets.

II.2.4 Processus de développement d'un SMA

Différentes étapes composent le processus de développement d'un SMA. On trouve, aussi, une similitude dans le processus de développement des systèmes orientés objets et celui des SMA.

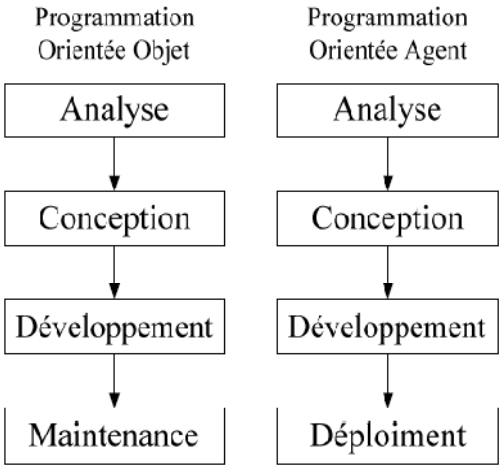

Figure II-5 Processus de développement Orienté Objet et SMA

En effet, dans les deux cas, ce processus est composé de quatre phases [Nguyen, 06].Les trois premières sont pratiquement équivalentes aux systèmes usuels: il s'agit des phases d'analyse, de conception et de développement. La différence principale réside dans la quatrième phase (Figure II-5). En effet, celle-ci correspond, dans un processus orienté objet, à la phase de maintenance et donc à une phase de correction d'anomalies et d'intégration des évolutions souhaitées par l'utilisateur. Dans les SMA, nous remplaçons cette dernière phase de maintenance par la phase de déploiement. Comme décrit par Demazeau [Demazeau, 00] [Ricordel, 01] et repris par la suite par Laichour [Laichour, 02], cette phase de déploiement est nécessaire dans la conception des SMA pour inclure l'évolution des agents durant l'exécution. Plus précisément, il s'agit d'ajouter, modifier ou supprimer des agents durant le fonctionnement de l'application.

II.2.5 Les méthodologies SMA

La modélisation des SMA est encore un sujet de recherche très ouvert. Quoique plusieurs méthodologies et approches ont été proposées, on n'a toujours pas fixé une méthode standard de développement malgré la multitude de travaux qui tentent de standardiser les méthodologies [Saba et al., 02] [Saba et al.,01]. Néanmoins, les différentes méthodologies ont été classifiées et comparées, facilitant ainsi au concepteur de choisir la méthodologie qui correspond au mieux à ses besoins. Parmi ces travaux de classification nous pouvons citer ceux de Lahlouhi [Lahlouhi, 01], de Laichour [Laichour, 02] et principalement les travaux de Bauer et Mueller [Bauer et Mueller, 04] qui proposent une table de classification selon les bases, les phases, les appuis et la zone d'application.

On distingue principalement trois groupes (Figure II-6) :

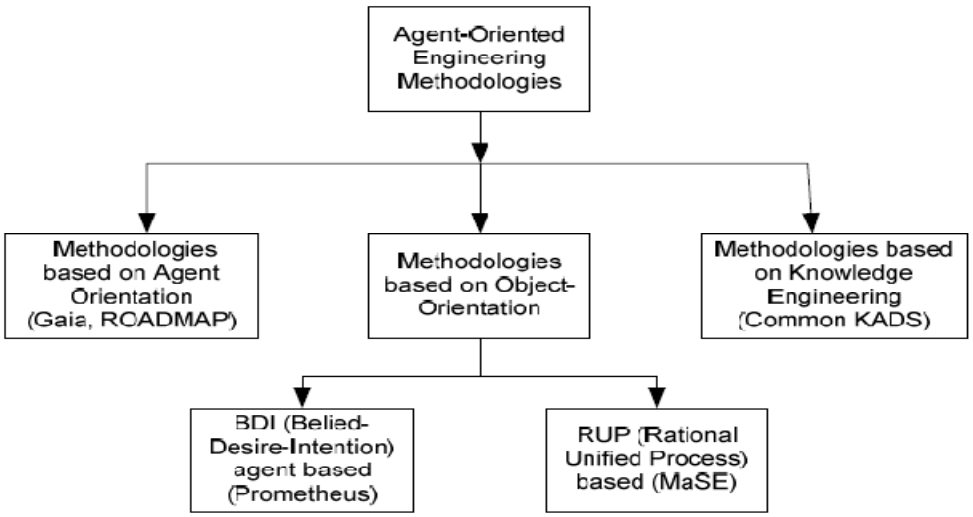

Figure II-6 classification des méthodologies Multi-agent

- Méthodologies basées sur l'orienté objet.
- Les méthodologies à base de connaissances.
- Les méthodologies fondées sur l'Orientation-Agent.

Nous présenterons ci-dessous une brève description des différentes méthodologies et leur classification. Nous expliquerons ensuite notre choix de méthodologie.

II.2.5.1 Les méthodologies fondées sur l'orienté Agent

Ce type de méthodologie est caractérisé par une orientation sur la capture de l'abstraction du niveau social [Weiss, 01]. On évoque ici comme exemple la méthodologie ***Gaia***.

Fondé principalement sur une abstraction organisationnelle, ***GAIA*** [Zambonelli et al., 03] [Wooldridge et al., 00] considère un SMA comme étant composé d'un ensemble d'entités autonomes où chaque entité (agent) joue un rôle défini par quatre attributs (responsabilités, permissions, activités et protocoles). Deux phases composent ce processus : phase d'analyse qui produit deux modèles : le modèle de rôles et le modèle d'interactions et la phase de conception qui transforme les modèles abstraits de la phase d'analyse en modèles moins abstraits : modèle d'agent, modèle de service et modèle de relation [Zambonelli et al., 03].
Gaia repose principalement sur cinq modèles :

- *Modèle d'organisation :* donne une vision hiérarchique du système en décomposant chaque module en des composants plus petits. Cette décomposition est basée sur les objectifs des composants et la fréquence de leur interaction.
- *Modèle d'environnement :* modélise l'environnement selon ses ressources.
- *Modèle préliminaire de rôle :* ce modèle propose une définition préliminaire des rôles et des protocoles de l'organisation. Un rôle étant défini par les permissions (relation de l'agent avec son environnement) et la responsabilité incluant les états d'un agent et la sécurité d'un agent.
- *Modèle préliminaire d'interaction :* représente les relations entre les différents rôles.
- *Modèle de règle organisationnelle* : définit comme étant la responsabilité de l'organisation.

II.2.5.2 Les méthodologies à base de connaissances

La puissance de ce type de méthodologie réside dans la modélisation de l'état mental des agents. Seulement elle ne propose pas une modélisation du comportement social des agents. La Méthodologie ***CommonKADS*** [Schreiber et al., 94] est la référence dans ce domaine en Europe, nous présentons dans la suite la méthodologie ***MAS-CommonKADS*** qui est une extension à cette dernière.

La méthodologie ***MAS-CommonKADS*** (Multiagent System – Knowledge Analysis and Development System) [Iglesias et al., 96] est une extension à la méthodologie d'ingénierie des connaissances CommonKADS [Schreiber et al., 94] qui combine des techniques de l'orientée objet comme la Object Oriented Software Engineering (OOSE) [Jacobson et al., 92] et les méthodologies d'ingénierie de protocole comme Specification and Description Language (SDL).
La méthodologie consiste à l'élaboration de sept modèles. Chaque modèle étant composé d'entités à modéliser et de leurs relations. Les modèles construits sont les suivants :

- *Modèle Agent* : il décrit les caractéristiques de chaque agent, capacités de raisonnement, compétences et les hiérarchies.
- *Modèle de travail :* décrit les tâches que les agents effectuent et les méthodes de résolution de problèmes.
- *Modèle d'Expertise :* décrit les connaissances requises par les agents pour atteindre leurs objectifs.
- *Modèle d'Organisation :* décrit les relations structurelles entre agents.

- *Modèle de coordination :* décrit les conversations entre agents: leurs interactions, les protocoles;
- *Modèle de communication :* interactions humain-agent logiciel.
- *Modèle de conception* : affine les modèles précédents et détermine l'architecture la plus appropriée pour chaque agent.

II.2.5.3 Méthodologies basées sur l'orienté objet

Ce type de méthodologie est caractérisé par une tendance à étendre les technique orientées objet. On peut distinguer deux orientations dans ce type de méthodologie :

II.2.5.3.1 BDI (Beliefs, Desires, Intentions)

Comme son nom l'indique, cette méthodologie repose sur les croyances, les désires et les intensions.

- Les ***croyances*** (Beliefs) qui reflètent les connaissances que peut avoir un agent sur l'univers auquel il appartient.
- Les ***désirs*** (Desires) ou options qui représentent l'ensemble des opportunités offertes à l'agent et sont générées à partir des croyances de l'agent à un moment donné et des objectifs à plus long terme que l'agent a pu se fixer.
- Les ***engagements*** (Intentions) qui sont les options retenues par l'agent. Elles mènent à une action.

Parmi les méthodologie BDI, on peut citer *MMTS* (A Methodology and Modeling Technique for Systems of BDI agents) [Georgeff et al., 96]. Cette méthodologie propose deux niveaux pour modéliser les agents :

- *Niveau interne* : basé sur trois modèles (modèle de croyance, modèle d'objectif et modèle de plan) ; ce niveau permet d'identifier les classes d'agent BDI.
- *Niveau externe* : Basé sur deux modèles (modèle d'agent et modèle d'interaction) ; ce niveau permet de décomposer le système en agent et de définir leurs interactions.

Une autre méthodologie qui appartient au type BDI est la méthodologie ***Prometheus*** [Padgham et al., 03].

II.2.5.3.2 RUP

RUP[14] (Processus unifié) [Kruchten, 00] est une méthode incrémentale et itérative de développement des logiciels orientés objets. Parmi les méthodologies qui s'inscrivent dans ce type on peut citer :

II.2.5.3.2.1 MASE (MultiAgent Systems Engineering)

Cette méthodologie [Deloach, 99] couvre l'étape de conception et le début de l'étape d'implémentation à travers deux langages AgML[15] (Agent Modeling Language) et AgDL (Agent Definition Language). Elle utilise les techniques d'OMT[16] (Object Modeling Technique) et UML[17] (Unified Modeling Language) en les adaptant aux spécifications des agents. D'après [Deloach, 06], la méthodologie MaSE était à la base conçue pour développer des systèmes multi-agents en général. Mais par la suite, cette méthodologie a été utilisée dans tous les domaines (systèmes robotiques, coopératives, anti-virus etc.). Quatre étapes principales composent cette méthodologie : conception du domaine, conception d'agents, conception de composantes et conception du système. La méthodologie MaSE n'est pas en mesure de gérer le dynamisme des systèmes multi-agents. En effet, elle ne propose pas une modélisation de l'entrée/sortie d'un agent dans un SMA dynamiquement (au cours de l'exécution du système).

II.2.5.3.2.2 O-MASE

O-MaSE (Organization – based Multiagent System Engineering) [Deloach, 05] est une extension à la méthodologie MasE qui la complète par la dimension d'organisation. O-MaSE considère un système multi-agent comme une organisation sociale. Chaque agent étant un membre de cette organisation et joue un rôle spécifique en fonction de sa capacité. Elle est composée principalement des modèles de But, d'Organisation, de Rôles, d'Ontologie, d'Agent, de Protocole et d'Etat d'agent.

II.2.5.4 Choix d'une méthodologie

Les méthodes les plus utilisées sont celles fondées sur l'orienté objet, comme MASE et Promoetheus. En fait, ces méthodologies couvrent les phases d'analyse, de conception et, pour certaines d'entre elles, la phase d'implémentation au moyen d'outils spécifiques.

[14] **http://fr.wikipedia.org/wiki/Unified_Process#RUP**
[15] **http://en.wikipedia.org/wiki/AGML**
[16] **http://fr.wikipedia.org/wiki/OMT**
[17] **http://fr.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language**

Plusieurs systèmes multi-agents conçus ont été développés en utilisant la méthodologie MaSE. Par exemple, Balachandran et Enkhsaikhan [Balachandran and Enkhsaikhan, 06] expliquent leur choix par la simplicité de la méthodologie.

Nous sommes également tentés d'utiliser cette méthodologie car, outre sa simplicité, elle propose un cycle de vie qui couvre une grande partie du processus de développement. Toutefois, cette méthodologie a des limites et risque de nous bloquer durant le processus de développement. En effet, la méthodologie MaSE n'est pas en mesure de gérer la mobilité et le dynamisme d'un système [Deloach, 01]. En d'autres termes, il n'est pas possible de modéliser l'apparition et la disparition des agents dynamiquement dans le système. Or dans notre système, le flux des patients apparait dynamiquement. Le ou les agent(s) qui gère l'accueil doit, donc, faire de même. De plus, des professionnels médicaux externes peuvent être sollicités au cours de la prise en charge des patients au SU. Cette intégration se traduit par la création d'un agent logiciel dans notre système.

La méthodologie O-Mase qui est une extension de la Méthodologie MaSE vient combler cette lacune en rajoutant une autre dimension permettant la gestion des systèmes dynamiques. Nous avons donc choisi la méthodologie O-Mase pour développer notre système. Comme décrit précédemment, cette méthodologie permet de concevoir un système multi-agent selon une vision organisationnelle en se basant sur des méta-modèles.

II.2.5.5 Les phases de la méthodologie O-MaSE

L'un des plus grands avantages de cette méthodologie réside dans sa large couverture du processus de développement des systèmes multi-agents. En effet, elle permet de suivre l'évolution du SMA dès la définition des objectifs jusqu'à la conception et l'implémentation finale de l'application (Figure II-7) et donc d'augmenter et de faciliter l'industrialisation des systèmes multi-agents. Cette méthode se décompose en deux phases principales : la phase d'**initiation** et la phase de **construction**.

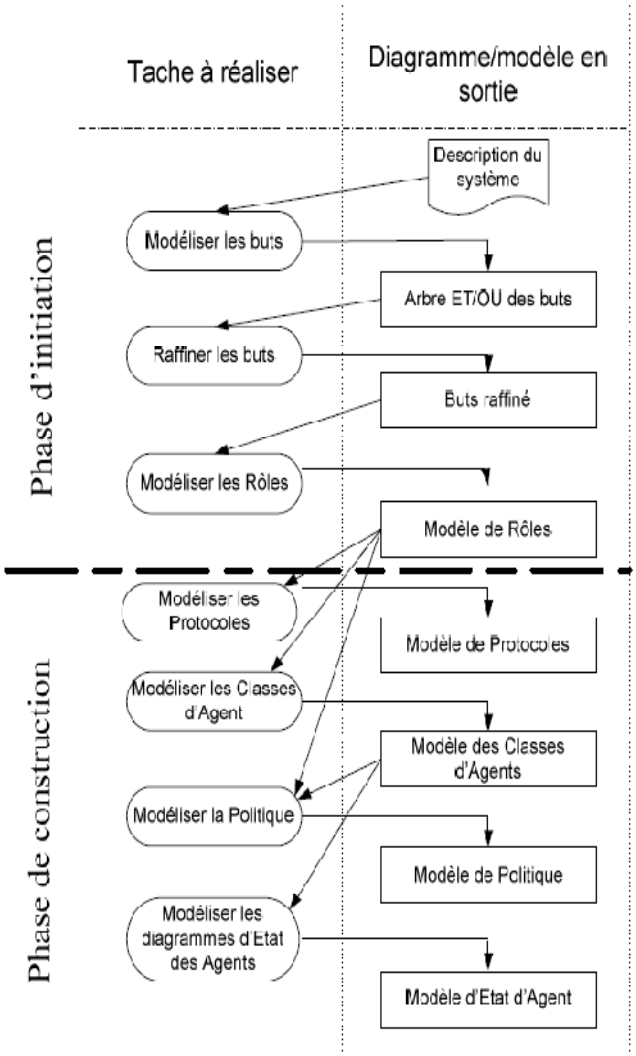

Figure II-7 Processus de modélisation O-MASE

II.2.5.5.1 Phase d'initiation

La phase d'initiation permet de fixer les buts/objectifs du système et de définir les rôles qui permettent de les atteindre. La phase d'initiation est composée à son tour de deux étapes : l'étape de collecte et de spécification des besoins et l'étape d'analyse.

II.2.5.5.1.1 Définition des Besoins

Cette étape est composée de deux sous-étapes :

- La Capture de buts : c'est une étape de collecte d'information et de définition des besoins. Elle prend en entrée les spécifications et les exigences du système et donne en sortie un diagramme structuré de but. Cette étape est réalisée en créant des scénarios à partir des exigences qui serviront à l'identification des objectifs. On définit donc

l'objectif principal et tous les sous-objectifs du système. Une fois les objectifs définis, une étape de structuration sera réalisée. Elle permet de mettre les buts déjà définis dans un arbre de buts qui se traduit par un diagramme de hiérarchie représentant les buts et les relations sous-buts.

- Application du cas d'utilisation : on traduit les buts définis en diagramme de cas d'utilisation bien détaillés. Les cas d'utilisation décrivent une séquence d'événement représentant le comportement désiré du système. On crée au moins un seul diagramme de séquence. Si plusieurs scénarios sont envisageables, on doit en créer plusieurs.

II.2.5.5.1.2 Analyse

Pour chaque objectif identifié dans les étapes précédentes, on associe un rôle. Chaque rôle sera composé de tâches conçues pour atteindre un but et ses sous-buts (s'il en a). Ceci est réalisé via des diagrammes d'état-transition qui permettront de décrire les rôles et les relations entre eux (diagramme de Rôle). Ensuite, via des notations UML standard, on génère un diagramme de domaine qui permet de décrire les relations entre les différentes entités, les attributs et l'organisation générale.

II.2.5.5.2 Phase de construction

C'est l'étape de conception, elle vise à mettre en place un système pouvant concrétiser les rôles et les buts définis dans les étapes précédentes. En effet, elle permet de modéliser les agents (en leurs affectant les rôles) et permet de définir les types de communication et protocoles liant les différents intervenants du système. Sept sous-étapes constituent cette phase :

- Construction du modèle d'agents : le diagramme d'agent permet de décrire les agents, l'attribution des rôles, les capacités de chaque agent et enfin les services fournis. Le modèle d'agents est un diagramme de classe d'agents similaires au diagramme de classe de l'orienté objet. Les attributs d'un agent sont les rôles que peut jouer ce dernier et les relations entre les agents représentent des conversations.

- Construction du modèle de protocole : un protocole liant deux agents est décrit par un diagramme de séquence qui représente les différentes interactions entre les deux entités en précisant l'ordre des messages échangés.

- Construction du modèle de plan : un modèle de plan d'agent décrit l'évolution d'un agent au sein du système. Le diagramme de plan est un diagramme d'état-transition basé sur la notation UML. Pour chaque état, on définit les conditions d'entrée et de sortie, l'état initial, les états finaux et les comportements.

- Construction du modèle de politique : le modèle de politique définit un ensemble de règles formelles qui précisent la manière selon laquelle l'organisation doit évoluer dans une situation particulière. Ce modèle permet d'identifier les règles et contraintes du système et les traduit par des autorisations ou interdiction de jouer des rôles/combinaison de rôles dans des situations particulières.

- Construction du modèle de capacité : le modèle de capacité est représenté par un diagramme de classes UML. Il est défini par des capacités atomiques et des capacités d'action. Par ailleurs, le diagramme de capacité peut comporter trois types de catégories: action, protocole et plan. Une capacité d'action est une capacité atomique qu'un agent peut posséder. Une capacité de protocole est un ensemble d'étapes et de conditions qui sont exécutées sous certaines actions. Un plan capacité est un ensemble de capacités d'actions et de protocoles qui sont définis pour atteindre un ou plusieurs buts.

- Construction du modèle d'action : le modèle d'action est constitué d'un diagramme de classes UML et un document décrivant les conditions. Le diagramme de classes UML est utilisé pour décrire les différentes actions qu'un agent peut effectuer. Le document, quant à lui, précise les pré et post-conditions pour chaque action.

- Construction du modèle de service : le modèle de service est un diagramme UML schématisant les grandes lignes des caractéristiques et des comportements des rôles exécutés par les agents.

II.2.6 Domaines d'application des SMA

Les systèmes multi-agents étant issus du domaine de l'intelligence artificielle distribuée, ils permettent de modéliser des applications où une modélisation classique est inadéquate et où le système est souvent naturellement distribué. Si un problème n'est pas naturellement distribué, on peut choisir de le distribuer pour des raisons de simplification. C'est alors à la charge du concepteur de trouver la meilleure distribution possible afin qu'elle corresponde au problème qu'il souhaite résoudre. Les applications qui sont naturellement distribuées sont en général celles natives du monde réel, par exemple, celles concernant la simulation d'écosystèmes où l'on associe à chaque individu un agent [Drogoul, 93] [Farrel et al., 98] [Prietula et al, 98] [Axelrod, 97] [Deangelis et al., 92].

II.2.6.1 Écosystèmes et modèles individus centrés

Les modèles individus centrés, c'est à dire orientés individus sont des simulations basées sur les conséquences globales d'interactions locales entre membres d'une population. Ces individus peuvent représenter des plantes et des animaux dans un éco-système, des véhicules dans la circulation, des personnes dans une foule, ou des personnages autonomes dans une animation ou un jeu. Ces modèles consistent typiquement en un environnement ou un cadre global dans lequel des interactions se passent et un certain nombre définis par leur comportement (règles comportementales) et des paramètres caractéristiques. Dans un modèle orienté-individu, les caractéristiques de chaque individu peuvent être suivies de façon continue. Ceci contraste avec les techniques de modélisation où le modèle tente de simuler des changements dans les caractéristiques moyennées d'une population globale. Les modèles orientés individus sont aussi appelés "orientés entités" ou "orientés-agents" et on parle de simulation multi-agent. Dans ce système, un agent (individu) correspond toujours à une entité du monde réel (un animal, une personne, un objet, une bactérie, etc.). De nombreuses applications de simulation utilisent des SMA basés sur un modèle individu centré [Booth, 97] [Luna et al., 00] [Downing et al., 99] [Kohler et al., 96] des plateformes telles que SWARM leur sont parfois complètement dédiées.

II.2.6.2 Systèmes complexes

Les systèmes complexes sont des systèmes où les techniques de modélisation classique sont difficilement utilisables. En effet, dans ces systèmes, les paramètres sont beaucoup trop nombreux ou contradictoires pour pouvoir être pris en compte. Parfois même, il n'est pas possible de connaître l'ensemble des paramètres qui interviennent pour la

modélisation. L'approche multi-agent permet alors d'avoir recours à une modélisation locale. Cette modélisation permet grâce aux principes d'émergence présents dans les SMA d'obtenir un système ayant les propriétés attendues. Il s'agit notamment de l'ensemble des systèmes permettant la simulation d'écosystèmes. Un bon exemple concerne la simulation d'une fourmilière [Drogoul, 93].

II.2.6.3 Systèmes d'aide à la décision et SMA

Les Systèmes d'Aide à la Décision (SAD) sont présents dans de nombreux domaines et ont pour objectif d'aider le décideur dans sa tâche en lui fournissant tous les éléments pertinents pour la prise de décision. Cela consiste très souvent à extraire de l'information depuis de multiples sources et à la traiter. Des traitements de l'information pour une prise de décision multi-critères sont alors nécessaires. Les systèmes multi-agents apparaissent comme étant bien adaptés pour traiter de l'information qui peut revêtir diverses formes et provenir de diverses sources. En effet, il faut pouvoir faire la corrélation entre l'ensemble des éléments obtenus pour les présenter à l'utilisateur. L'approche à base d'agents permet d'effectuer cette corrélation en utilisant la négociation et la coopération entre agents. Il s'agit donc d'un domaine d'application pour les SMA.

II.2.6.4 Les approches à base d'agents dans le domaine de la santé

Dans le meilleur des mondes, les systèmes informatiques de santé serviraient à améliorer l'offre de soin, la qualité des diagnostics et la coordination du personnel de santé tout en veillant à respecter scrupuleusement la réglementation, à protéger le personnel soignant des risques de procès et à dépenser moins de temps et d'argent en prestations de service informatique.

Les propriétés des agents intelligents (autonomie, pro-activité, capacités sociales) et l'architecture des systèmes multi-agents (traitement de l'information distribuée, communication, coordination, négociation) se révèlent une piste prometteuse pour résoudre les problèmes dans le domaine de la santé.

Les agents intelligents ont déjà été proposés pour faire face à différents types de problèmes dans le domaine des soins de santé. En voici quelques exemples de leur champ d'application.

- [Nealon et al., 02] ont discuté du potentiel des applications à base d'agents virtuels pour contribuer à un large éventail d'activités dans des environnements de soins de santé.
- [Mea, 01] a développé TOMAS (Telemedecine-Oriented Medical Assistant) qui est utilisé par chaque spécialiste pour transférer les images microscopiques et les données d'un patient pour élaborer un diagnostic en collaboration avec d'autres collègues dans le département de pathologie.
- [Lieberman et al., 02] discutent d'un agent assistant navigateur appelé "Letizia" qui a été développé afin de trouver des connexions fortuites quand un utilisateur recherche une chose liée à la médecine et d'un agent logiciel «Aria» qui a été élaboré pour intégrer l'annotation et la récupération d'images en une seule application intégrée.
- [Riaño et al, 02] ont travaillé sur un projet de recherche appelé PalliaSys. Il intègre la technologie de l'information et les systèmes multi-agents pour améliorer les soins donnés aux patients palliatifs.
- [Iqbal et al, 02] ont développé un assistant intelligent de connaissance des soins (Intelligent Healthcare Knowledge Assistant) qui utilise le système multi-agents pour la collecte dynamique de la connaissance, le filtrage, l'adaptation et l'acquisition de l'unité de mémoire des soins de l'entreprise.
- [Greenwood et al , 03] se sont intéressés sur les conseils de dosage précis pour les patients diabétiques et visent à produire un système à base d'assistant personnel numérique dans lequel les patients entrent divers détails sur leur alimentation et leur condition physique.
- [Tian et al., 03] discutent d'une étude de cas impliquant des agents différents qui fournissent des consultations et des thérapies pour les patients souffrant de diabète.
- [Heine et al, 04] ont simulé un agent orienté environnement pour les hôpitaux allemands dans l'objectif d'améliorer ou d'optimiser le système de planification, d'affectation des ressources et de coûts-avantages des essais cliniques.
- [Mabry et al, 04] ont employé le SMA pour fournir des diagnostics et des conseils au personnel des soins de santé en contact avec les patients traumatisés. Un Assistant d'urgence Medicale (ERMA) basé sur des agents intelligents de suivi a été développé pour démontrer le système de l'environnement du traumatisme avec un accent particulier sur les types de choc et de stabilisation des gaz du sang artériel.

- [Zachewitz, 04] a développé un système basé sur les agents pour améliorer le pourcentage de vaccination en Allemagne. Les agents ont été développés pour maintenir la cohérence du dossier médical du patient au niveau de la pharmacie, des spécialistes et du médecin traitant.
- [Koutkias et al, 05] ont créé un système multi-agents qui vise à améliorer le suivi, la surveillance et le service éducatif d'un centre de contact médical (MCC) pour la gestion des maladies chroniques en Grèce.
- [Nealon et al., 03] discutent de diverses applications des SMA en soins de santé par exemple, la coordination des transplantations d'organes dans les hôpitaux Espagnols, le calendrier de traitement, les soins pour personnes âgées, etc.

II.2.7 Synthèse

Après la domination de la technologie objet, la technologie agent semble prendre de plus en plus d'importance. En effet, elle permet de répondre aux besoins de nombreux domaines d'application jusque là difficilement abordables par les moyens traditionnels. Il s'agit notamment des systèmes complexes, des systèmes d'aide à la décision et plus essentiellement des systèmes de santé et de la prise en charge des patients qui nous intéressent plus particulièrement dans cette thèse.

Par conséquent, nous avons présenté dans cette partie de chapitre les concepts multi-agents et les concepts sur lesquels nous avons fondé nos travaux. Ces concepts nous ont permis de modéliser correctement et d'une manière fidèle à la réalité (distribution, mobilité, autonomie, interaction, etc.) le Système d'Aide à la Décision aux Services d'urgences SADSU pour améliorer la prise en charge des patients (chapitre 3).

Cependant, une modélisation irréprochable des données et des traitements ne suffit pas si on n'introduit pas un aspect « optimisation » pour la mise en œuvre d'un SAD efficace. C'est pour cette raison que, dans notre approche, nous avons combiné l'optimisation au SMA et plus spécialement l'ordonnancement des activités médicales au SU en minimisant le temps d'attente des patients.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous présentons une vue d'ensemble sur les approches d'ordonnancements existants dans le domaine de la santé afin de pouvoir positionner nos travaux par rapport à l'existant.

II.3 Etat de l'art sur l'ordonnancement

II.3.1 Introduction

Les difficultés liées à l'application de méthodes issues du domaine du génie industriel au milieu hospitalier se situent à plusieurs niveaux :

- L'analyse d'un système hospitalier est fortement liée à l'observation et la modélisation de flux de patients et non de produits : il est difficile de prédire le parcours d'un patient au sein d'un système hospitalier car il dépend de multiples facteurs tels que sa pathologie ou son mode de prise en charge.

- L'activité du personnel hospitalier est très diversifiée et fait preuve d'une haute capacité d'adaptation à la demande : l'urgence est une notion récurrente à l'origine de la plupart des problèmes d'organisation.

- Enfin, l'environnement hospitalier est hautement stochastique, rendant difficile la planification de ressources.

La première des spécificités de l'ordonnancement liées à la santé est d'affecter des tâches de soins à des ressources humaines. Celles-ci étant différentes et leurs différences provenant de leurs compétences, nous évoquerons, donc, dans un premier temps la façon dont celles-ci sont prises en compte et le besoin de cette prise en compte. Par ailleurs, lors de la réalisation d'un ordonnancement des tâches de soin, ces dernières ne sont pas nécessairement toutes connues. Nous étudierons donc la notion d'horizon et son impact sur la manière d'ordonnancer les tâches. Ensuite, nous exposerons un état de l'art sur le problème d'affectation des ressources humaines dans le domaine de la santé. Enfin, nous aborderons la notion d'urgence et de l'incertain suivant les tâches.

II.3.2 L'ordonnancement et les ressources humaines

Si un grand nombre de travaux font référence à l'ordonnancement des ressources humaines, peu d'études prennent en compte les compétences de celles-ci. Dans ce qui suit, nous présenterons tout d'abord un court état de l'art sur la prise en compte des ressources

humaines. Ensuite, nous nous intéresserons plus particulièrement aux approches ayant pris en comptes les compétences de ces ressources.

II.3.2.1 La prise en compte des ressources humaines

Tchommo et al. [Tchommo et al., 03] ont réalisé une synthèse bibliographique sur l'ordonnancement simultané de moyens de production et des ressources humaines. Il ressort de cette étude un manque dans la prise en compte des ressources humaines en ordonnancement. Selon eux, il est difficile d'appliquer les résultats de recherche sur le terrain, ce qui s'explique par l'absence de prise en compte simultané des deux aspects de cette problématique d'ordonnancement.

Toujours selon cette synthèse, les différents problèmes rencontrés en atelier de production sont les suivant :

- Le "Shift Scheduling" qui correspond à l'assignation journalière des ouvriers aux équipes de travail. Cette problématique doit permettre de trouver le nombre d'ouvriers nécessaires pour un fonctionnement optimal du service.
- Le "Day-off Scheduling" qui vise à gérer les congés des employés. L'horizon de travail est en général de plus d'une semaine. Ces problèmes intègrent les contraintes de durée légale ou statutaire, journalière, hebdomadaire et annuelle de travail des employés.
- Le "Tour Scheduling" qui cherche à déterminer les cycles d'intervention de chaque employé. L'horizon de travail est en général un horizon hebdomadaire.

Mais, les opérateurs de production peuvent être utilisés pour certaines tâches de soins afin d'améliorer la flexibilité des systèmes. Cependant, la mutualisation des ressources dans le cadre de l'optimisation de leur utilisation entraîne souvent des problèmes de gestion [Trilling et al., 05]. Les ressources mutualisées peuvent être matérielles ou humaines. Le domaine hospitalier est l'exemple même dans lequel l'adaptation peut engendrer un coût en temps improductif très important. Il faut donc limiter les adaptations trop fréquentes qu'engendre la mise à disposition des ressources humaines entre différents services. Il n'est parfois pas évident pour un employé de réaliser son travail dans un nouveau contexte même s'il est très bon dans son domaine.

Au sein du service d’urgences, le personnel dispose de compétences médicales différentes et de niveaux d’expérience différents. La rapidité de traitement dépendra du choix du personnel qui sera affecté. Selon [Tchommo et al., 03], l'intégration de l'ordonnancement

des tâches et des ressources humaines n'est pas un sujet très présent dans la littérature et, en ordonnancement classique, le personnel est peu pris en compte. Les quelques travaux existants proposent principalement deux courants d'idées :

- Les ordonnancements séquentiels : ce sont les ordonnancements réalisés en plusieurs étapes [Ernst et al., 04]. Par exemple dans la gestion des équipages des avions, il est fréquent que les tâches prioritaires soient affectées aux personnels les plus qualifiés puis les tâches courantes soient affectées aux employés au jour le jour.
- Les ordonnancements conjoints : ces ordonnancements sont réalisés en une seule phase et prennent en compte les informations disponibles sur les employés lors de la réalisation du planning. Grabot et al. [Grabot et al., 00] prennent en compte l'ordonnancement des tâches de production et comme information sur les travailleurs, la productivité relative des opérateurs.

Cependant, même si l'ordonnancement tient compte des compétences des travailleurs, les différents logiciels d'ordonnancement de la production ont posé comme hypothèse que les durées des tâches sont connues [Tchommo et al., 03]. Ces approches sont généralement liées à la production et non à la gestion des activités de soins. L'application au domaine hospitalier des méthodes d'ordonnancement et d'affectation des tâches doit, pour être réaliste, tenir compte des compétences et des niveaux d'expérience des ressources humaines qui vont donc les exécuter avec des durées variables.

II.3.2.2 La prise en compte des compétences

Le choix des ressources humaines à affecter aux tâches doit permettre de satisfaire des objectifs de délais de réalisation. Les approches qui prennent en compte les compétences du personnel à qui les tâches sont affectées sont principalement du type "capable ou non". Elles peuvent être des classements [Boumane et al., 03], pour différencier les compétences génériques des compétences spécifiques qui sont détenues ou non. Pour permettre d'obtenir des temps de calcul rapides lors des affectations (comparé à des études exhaustives), Bennour et al. [Bennour et al., 03] présentent une approche dichotomique pour déterminer si la ressource est capable ou non de réaliser la tâche concernée. On retrouvera aussi ce type d'approche dans l'affectation d'équipe ou d'équipage dans l'aviation [Zeghal et al., 01] où un pilote peut prendre la place d'un copilote mais pas l'inverse et dans le domaine de la gestion de projet dont la particularité est d'avoir des contraintes de précédence et leur aspect cumulatif. Bellenguez-Morineau [Bellenguez-Morineau, 06] se sont intéressés à la gestion de

projet avec prise en compte de compétences multiples (un problème noté MSPSP pour Multi-skill Project Scheduling Problem). Pour ce problème, Bellenguez-Morineau cherche à minimiser la date d'achèvement global (Cmax) du projet sachant que chaque ressource possède un certain nombre des compétences utilisées dans le problème.

La notion de degré de connaissance pour représenter la rapidité d'une personne expérimentée par rapport à une autre est peu utilisée et peu prise en compte dans le but d'équilibrer la charge entre les ressources et de trouver le couple ressources/tâches le plus adéquat. Dans le cadre de l'étude d'une entreprise de fabrication de produit d'ameublement, Gruat La Forme et al. [Gruat-La-Forme et al., 07] ont développé une approche prenant en compte les compétences afin de mieux répartir la charge de travail. Cette approche considère les niveaux d'expérience des employés de production sous la forme de rendement par modèle. Dans leur approche, la répartition des travaux se fait aussi en prenant en compte la nécessité de donner de l'expérience ou de maintenir un niveau d'expérience du personnel. Les tâches ne sont donc pas systématiquement affectées aux ressources les plus efficaces. L'approche de résolution développée est une approche mono-critère réalisée suivant des critères de productivité, d'équilibrage de la charge et de diversité dans la répartition des travaux. L'optimisation à été mené suivant chacun de ces critères placés tour à tour en fonction objectif et les solutions ont été évaluées suivant l'ensemble de ceux-ci. Le problème a alors été résolu par programmation linéaire en nombre entier. Cela permet d'observer la dégradation des résultats sur les critères non optimisés et donc de mettre en évidence les limites d'une approche mono-critère.

II.3.2.3 Ordonnancement statique et dynamique

En fonction de l'horizon sur lequel l'ordonnancement des tâches sera réalisé, les méthodologies employées seront différentes. L'ordonnancement pourra être réalisé de manière statique ou dynamique :

- Un algorithme d'ordonnancement est dit statique lorsque l'ordonnancement est prévisible avant la mise en fonctionnement du système, il faut pour cela connaître les tâches a priori. Étant donné que pour une approche statique, il faut connaître à priori l'ensemble des tâches et leurs caractéristiques. Cette approche ne peut s'appliquer que pour l'ordonnancement de tâches connues pour une période ainsi que des tâches périodiques telles que les tâches de maintenance préventive. Cette approche est hautement prédictible mais n'est pas flexible : un changement sur une des tâches ou

une de ses caractéristiques entraîne la reconstruction complète de l'ordonnancement [Ramamritham et al., 94].

- Un algorithme d'ordonnancement est dit dynamique lorsque l'ordonnancement est créé au fur et à mesure de l'arrivée d'événements dont on peut ne rien connaître a priori. Un ordonnancement statique est donc plus fiable et moins flexible qu'un ordonnancement dynamique [Parashkevov, 94].

La détection d'une pathologie entraîne une nouvelle tâche et en fonction de son importance, un nouvel ordonnancement comprenant cette nouvelle tâche doit être réalisé en temps réel. Cela correspond à l'insertion d'une tâche de soin, dont on ne connaît les caractéristiques qu'après l'apparition, dans un ordonnancement existant et connu. L'insertion peut alors se faire par le biais d'un ordonnancement statique. L'ensemble des tâches seront alors "désaffectées" et un nouvel ordonnancement indépendant du précédent, et comprenant la nouvelle tâche, sera réalisé. Mais les remises en cause potentielles des affectations ainsi que le temps mis pour le calcul du nouvel ordonnancement peuvent conduire à privilégier une insertion dynamique. Les problèmes dans lesquels réside une part d'aléa, tel que lorsque de nouvelles tâches surviennent, sont dit problème stochastiques. Nous abordons, dans le paragraphe suivant, cet aspect très présent dans le domaine hospitalier aux services d'urgences.

II.3.3 Le problème d'affectation des ressources humaines dans le domaine de la santé

Le Conseil canadien de la santé affirme dans le rapport d'un sommet national [HCC, 05] que « la prestation de services de santé accessibles et de grande qualité dépend de la présence au bon endroit des bonnes personnes aux bonnes compétences ». Mais le problème essentiel de toute affectation du personnel soignant réside dans les aspects aléatoires et les situations complètement imprévisibles liés au milieu hospitalier. Beaucoup de travaux dans la littérature ont abordé le problème d'affectation des ressources humaines dans le domaine de la santé. On trouve essentiellement des travaux qui ont abordé le problème de l'affectation des chirurgiens aux salles opératoires (programmation opératoire). Jebali et al [Jebali et al, 03] ont présenté une démarche permettant une affectation optimale et supervisée des chirurgiens au bloc opératoire en utilisant une approche par les réseaux de Petri T-temporisé. Guinet et al [Guinet et al, 03] ont proposé un programme linéaire à variables entières pour fixer les dates des interventions chirurgicales non encore programmées en tenant compte de la disponibilité

des lits d'hospitalisation. Kharraja et al [Kharraja et al, 03] ont proposé un outil permettant la construction automatique d'un plan directeur d'allocation des plages horaires. Il s'agit de proposer à chaque chirurgien ou groupe chirurgical, les plages horaires qui minimisent le risque de sur utilisation ou sous utilisation en proposant un modèle mathématique linéaire et une heuristique. Un outil d'aide à la décision a été réalisé par Marcon [Marcon, 03] pour le choix d'une date d'intervention en privilégiant l'aspect économique du remplissage des plages opératoires. Le problème est modélisé comme un problème de bin-packing on-line. Après l'évaluation des performances des algorithmes classiques de bin-packing[18], la sensibilité de leur performance à une variation du volume total des durées d'interventions est analysée. Il propose une heuristique originale Planned Fit (PF) combinant l'utilisation d'un Modèle de Référence de Planification des Interventions (MRPI) et les concepts de l'heuristique Sum-of-Squares[19] (SS). Suite à l'expérimentation de cet outil, Marcon [Marcon, 03] a recommandé l'heuristique SS et de n'utiliser l'heuristique PF que dans le cas où l'activité du groupe chirurgical est fortement prévisible. Beliën et Demeulemeester [Beliën et al., 08] proposent un programme opératoire préétabli qui sert à élaborer un ordonnancement du personnel de soins. L'affectation de l'IDE (Infirmier(e) Diplômé(e) d'Etat) est un problème qui a fait aussi l'étude de plusieurs revues de littérature. Draeger [Draeger,92] a développé des modèles de simulations de trois structures d'urgences aux hôpitaux de Bethesda pour explorer leur personnel infirmier. Venkataraman et Brusco [Venkataraman et al., 96] proposent aussi une approche intégrée pour le dimensionnement et la planification du personnel infirmier. Kumar et al [Kumar et al, 98] utilisent la simulation pour analyser le planning des infirmières d'une structure d'urgence à l'hôpital universitaire de Georgetown. Punnakitikashem et al [Punnakitikashem et al, 06] ont développé un prototype informatique pour l'affectation des infirmières aux patients et un modèle d'optimisation qui permet de minimiser la charge de travail. Ce problème a été modélisé en utilisant un programme linéaire mixte. On trouve aussi dans la littérature des applications sur les modèles de simulation du personnel de la structure d'urgences. Glaa et al [Glaa et al, 06] ont proposé un programme linéaire pour la résolution du problème d'affectation des infirmières aux différentes zones de la structure d'urgence. Ils ont proposé également une modélisation du parcours patient au sein d'un service d'urgence au moyen de la méthodologie GRAI, l'objectif étant d'optimiser ce parcours et d'améliorer la

[18] Le problème de **bin packing** relève de la recherche opérationnelle et de l'optimisation combinatoire. Il s'agit de trouver le rangement le plus économique possible pour un ensemble d'articles dans des boîtes. Le problème classique se définit en une dimension, mais il existe de nombreuses variantes en deux ou trois dimensions.

[19] **Somme des carrés** est un concept qui imprègne la plupart des statistiques déductives et statistiques descriptives. Plus correctement, il est la somme des carrés des écarts .

qualité de la prise en charge du patient. Les modèles sont caractérisés par une grande diversité dans les activités et par un nombre important d'intervenants. La simulation a permis d'identifier les problèmes organisationnels du système et d'évaluer plusieurs organisations alternatives portant sur la disposition physique, les effectifs, etc.

L'analyse de l'état de l'art montre que le problème de l'affectation de tout le personnel médical du SU avec prise en compte des compétences dans la structure d'urgence n'est pas encore traité. Etant donné la présence continue de l'incertain, le problème de prendre en charge les patients en temps réel au service d'urgences est de plus en plus difficile. L'aspect incertain se présente non seulement au niveau du processus de demande (quand se présente la demande de soin ?) mais également au niveau du processus de « fabrication de soin » (incertain sur la durée de chaque activité médicale et incertain sur la suite des activités à effectuer) et présence de l'incertain encore au niveau de la disponibilité des ressources (matérielles, humaines).

II.3.4 Prise en compte de l'urgence des tâches et de l'aspect incertain

En fonction des engagements pris ainsi que de l'état des indicateurs, les tâches de soins ont des niveaux d'urgence différents. Cette notion d'urgence ressort nécessairement dans la prise en compte des tâches et de la mobilité des équipes du personnel médical du SU. Dans la littérature, de nombreux articles traitent de l'arrivée des patients dans les hôpitaux et de nombreuses similitudes peuvent être observées. Lors de l'arrivée d'un patient au service d'urgences, le traitement est à sa manière urgente. Les tâches de soin peuvent être plus ou moins prioritaires en fonction de leur nature, de l'état du patient voire de contraintes externes liées au fonctionnement du service des urgences. La priorité de la tâche augmente en fonction du temps écoulé. L'algorithme d'ordonnancement à priorités dynamiques le plus répandue est l'ED (Earliest Deadline) [Ivanov et al., 03] dans lequel la priorité d'une tâche est inversement proportionnelle à sa latence.

Pour aborder le problème d'ordonnancement, il est nécessaire également d'identifier les sources d'incertitudes liées à l'ordonnancement et à l'affectation dans les activités d'un service d'urgences. Un ordonnancement d'activité de soin est structuré par les dates qui dépendent, pour certaines, des tâches elles mêmes et, pour d'autres, des événements extérieurs (tels que la disponibilité d'un équipement, sur lequel une opération de soin doit être réalisée). De ce fait, il existe trois types d'incertitudes :

- *Incertitudes sur les caractéristiques des tâches*

La durée prévue de la tâche dépend du diagnostic réalisé. Il est très difficile de prédire la durée réelle d'une tâche de soin. De plus, celle-ci dépendra des compétences de la ressource qui interviendra et de son expérience.

- *Incertitudes sur l'occurrence des tâches*

La principale incertitude à laquelle est soumis un ordonnancement d'activité d'un service d'urgences est l'arrivée de nouvelles tâches à insérer. En effet, non seulement elles ne sont pas prévisibles, mais elles peuvent générer d'importantes perturbations dans l'ordonnancement.

- *Incertitudes sur les ressources annexes*

Afin de mener à bien une intervention médicale, le personnel peut avoir besoin d'analyses médicales particulières ou encore l'aide d'un autre membre du personnel. L'intervention ne pourra donc débuter que lorsque toutes les ressources seront réunies. Or, il peut arriver que les personnes spécifiques soient déjà occupées par l'exécution d'une tâche dont la date de fin est incertaine. Concernant les analyses médicales, un mauvais renseignement ou la nécessité d'un matériel sophistiqué peuvent rendre la date d'obtention incertaine.

II.3.5 Synthèse

Dans cette partie du chapitre nous avons présenté le problème de l'ordonnancement et de l'affectation des ressources humaines avec toutes les spécificités sur lesquelles se base notre travail. On a montré qu'il est indispensable d'optimiser l'affectation du personnel du service d'urgences en respectant d'une part, leurs compétences et leurs disponibilités et, d'autre part, le flux patients. Nous présentons donc dans le chapitre suivant, l'approche réactive adoptée pour l'ordonnancement des tâches de soins à compétences multiples au service d'urgences.

II.4 Conclusion

Ce chapitre concerne un état de l'art sur les méthodes utilisées pour concevoir notre approche de résolution fondée sur des agents optimisateurs. Donc comment ces méthodologies peuvent-ils contribuer au dimensionnement des ressources humaines et surtout l'apport quant à la gestion de la prise en charge des patients ? Dans cette pensée, nous décrivons dans le chapitre suivant l'approche proposée pour améliorer la prise en charge des patients au service d'urgences.

Chapitre III
Approche proposée à base d'agents communicants pour l'optimisation de la gestion des services d'urgence

III.1 Introduction

Face aux problèmes de gestion de flux des patients dans les services d'urgence (SU), il semble nécessaire de modéliser, d'optimiser et de mettre en œuvre un Système d'Aide à la Décision (SADSU) permettant d'organiser ce flux de patients, d'ordonnancer l'activité du processus de prise en charge et de construire des plannings pour le personnel médical du SU. Ainsi, nous proposons un système ouvert[20] et dynamique à base d'agents logiciels pour gérer les problèmes de prise en charge des patients dans les SU dont l'objectif est de minimiser le temps d'attente du patient ainsi que les coûts de prise en charge, et ce dans le respect de la qualité des soins.

L'originalité de nos travaux par rapport à l'existant réside dans le faite de marier optimisation et Système Multi-Agent SMA au profit de la santé. Alors qu'on trouve actuellement dans les services d'urgence le développement de différentes sortes de modèles unissant des outils de bureautique, des outils de systèmes d'information et la gestion humaine. Ces modèles intègrent peu l'aide au pilotage instantané ou à la décision d'affectation des ressources dynamiques. Or, la nature imprévisible de l'activité de ces services nécessite une gestion dynamique de l'information.

Dans notre approche, nous visons principalement les objectifs suivants :

- Dans un premier temps, nous nous intéressons à la modélisation d'un SADSU en utilisant une infrastructure multi-agent, en particulier des agents spécialisés, tout en déployant les techniques de coopération, négociation, décomposition, affectation des

[20] Les **systèmes ouverts** désignent des systèmes informatiques qui fournissent un ensemble d'avantages en *interopérabilité*, *portabilité* et *standards ouvert de logiciel*.

tâches et ordonnancement distribué. Le but étant de permettre au système de gérer des patients qui arrivent de manière asynchrone et dynamique et de réagir en temps réel aux événements imprédictibles qui peuvent survenir au cours de l'accomplissement des traitements tel que l'arrivée de nouveaux patients en urgence vitale. Ainsi, nous proposons une modélisation des agents, leur coopération et leurs interactions en utilisant la méthodologie O-MaSE (§II-2-5-5).

- En second lieu, nous abordons le problème d'ordonnancement et d'affectation des tâches de soin à des Equipes médicales à Compétences Multiples (ECM). A ce niveau, nous proposons une approche réactive à 3 phases qui offre des solutions permettant de réagir en temps réel (§II.6). Cette approche devra permettre d'identifier un acteur de soin disponible à un instant donné et lui proposer, en fonction des flux des patients et des contraintes médicales ou pratiques, un ensemble de tâches qu'il pourra exécuter. Cet ensemble doit prendre en compte un aspect de la flexibilité, lié à la possibilité que pourrait avoir une ressource humaine à exécuter diverses tâches (degré de connaissance).
- En troisième lieu, nous proposons une stratégie de coordination des agents en mode réactif (§II.7) pour gérer la réaffectation dynamique des tâches de soin au personnel médical du SU lors d'une perturbation possible telles que: une durée d'opération qui dépasse la durée estimée, l'insertion d'un nouveau patient dans un ordonnancement déjà établi et l'évolution du degré d'urgence d'un patient au SU.

La suite de ce chapitre est organisée comme suit : le problème traité est décrit et formalisé dans le paragraphe qui suit. L'architecture multi-agent proposée est développée dans le 3ème paragraphe. Le 4ème paragraphe décrit le comportement des différents agents du système proposé. Ensuite, nous expliquons dans le 5ème paragraphe les caractéristiques de la coordination au SU et nous présentons les approches d'optimisation adoptées dans le 6ème paragraphe. Enfin, le protocole de coordination proposé est décrit dans le 7ème paragraphe.

III.2 Formulation du problème

L'objectif principal d'un service d'urgences est de garantir une prise en charge rapide et qualitative des patients tout en planifiant les ressources du système hospitalier. Le but étant d'organiser la prise en charge des patients accueillis aux services d'urgences par le personnel médical existant du SU afin de minimiser leur durée d'attente. Ainsi, le SADSU doit

permettre la prise en charge des patients présents dans les meilleurs délais. De même, un tel système doit faire face aux perturbations et réagir en temps réel. Ce problème devient difficile à résoudre si le flux de patients est important et imprévisible (§II.3.3). De ce fait, le problème d'ordonnancement des tâches de soins dans les SU peut être considéré comme dynamique dans la mesure où l'activité médicale n'est pas connue à l'avance.

Nous proposons donc de gérer les patients qui se présentent en même temps aux urgences en procédant par une phase de triage selon leur degré de gravité et à une affectation des opérations de soin de chaque patient aux différents acteurs du personnel médical du SU selon leur disponibilité tout en tenant compte de leurs compétences. Cette dernière caractéristique va nous permettre de distinguer les étudiants des personnels confirmés et d'autoriser l'affectation d'un acteur de soins sur plusieurs types d'opérations en cas de besoin.
Le problème décrit ci-dessus est défini par :

- L'ensemble des patients se représentant au service d'urgences à un instant t est noté par N.
- L'$i^{ème}$ opération de soin du patient j est notée par $O_{i,j}$
- Le traitement du patient j, $j \in \{1,..., N\}$, nécessite un nombre n_j d'opérations de soin ordonnées, $i \in \{1,..., n_j\}$, ainsi le plan de traitement de chaque patient j est donné par $T_j=\{O_{1,j},O_{2,j},...,O_{nj,j}\}$.
- Chaque opération de soin $O_{i,j}$ pour traiter le patient j peut être réalisée par une Equipe de personnel médical à Compétences Multiples (ECM).

IdPersonnel	Description
P_1	Médecin Urgentiste
P_2	Infirmière
P_3	Infirmière Anesthésiste
P_4	Aide soignante

Tableau III-1 Exemple du personnel médical du SU

- L'ensemble intégral du personnel du service d'urgences est noté par *M*.
- L'affectation d'une opération $O_{i,j}$ à un personnel P_m, $m \in \{1,..., M\}$, entraîne l'occupation de ce personnel pendant une durée. Le tableau III-1 présente un exemple du personnel médical au SU.

Dans notre approche, nous proposons la modélisation du SADSU sous deux niveaux : le premier concerne la modélisation d'un SADSU par un système multi-agents d'aide à la décision au SU et le second modélise les comportements des différents agents du système par l'approche O-MaSE.

A l'arrivée du patient, un « Agent logiciel Accueil » lance le SADSU et enregistre les données nécessaires recueillies par l'Infirmière Organisatrice d'Accueil (IOA) du SU. Ces données permettent d'identifier les besoins en soins du patient. Le système va donc pouvoir détecter le problème médical et gérer les équipes médicales afin d'assurer le traitement et le suivi du patient. Le diagramme de cas d'utilisation de la figure III-1 montre les fonctionnalités de notre système.

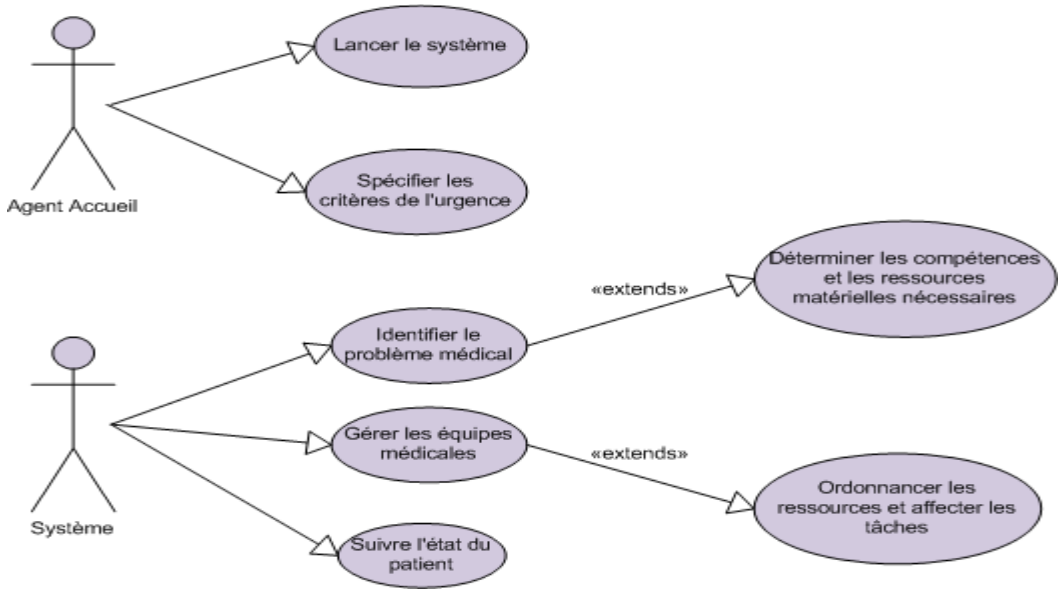

Figure III-1 Diagramme de cas d'utilisation du système proposé

III.3 Architecture multi-agent proposée

III.3.1 Positionnement de nos travaux

Pour modéliser le processus de prise en charge au service d'urgences (figure III-2), nous avons commencé par explorer le terrain (§IV.2). Le SU reçoit des patients de provenances diverses, des patients qui arrivent seuls, des patients emmenés par le SMUR[21], les pompiers ou les ambulanciers privés, ou parfois la police. En arrivant aux urgences, le patient se déplace dans la structure d'accueil selon des étapes fonctionnelles. De ces étapes clefs, découle le principe de fonctionnement commun à toutes les structures d'urgences. Ces étapes peuvent se décrire comme suit:

1. Le patient se présente à l'accueil : il est «trié» et admis.

2. En fonction du degré d'urgence et de gravité du motif de recours, il est installé directement en «Salle d'Accueil des Urgences Vitales», en salle de consultation ou en salle d'attente; il peut aussi être réorienté sur d'autres effecteurs mieux adaptés. Cette décision d'orientation est basée sur un pré diagnostic de son état fait par l'Infirmière Organisatrice d'Accueil (IOA) exprimé suivant la Classification Clinique des Malades des Urgences CCMU (Critères de 1 à 5). Les patients qui ont une CCMU de 1 à 3 vont à l'unité fonctionnelle et de 4 et 5 vers l'unité grave (Tableau III-2).

Classification	Définition
CCMU1	Etat lésionnel ou pronostic vital jugé stable et abstention d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique aux urgences.
CCMU2	Etat lésionnel ou pronostic fonctionnel jugé stable et décision d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique aux urgences.
CCMU3	Etat lésionnel ou pronostic fonctionnel jugé susceptible de s'aggraver dans l'immédiat, il n'engage pas le pronostic vital et la décision d'acte diagnostique ou thérapeutique aux urgences.
CCMU4	Situation pathologique engageant le pronostic vital et dont la prise en charge ne nécessite pas de manœuvres de réanimation aux urgences.
CCMU5	Situation pathologique engageant le pronostic vital et dont la prise en charge comporte la pratique de manœuvres de réanimation.

Tableau III-2 Classification Clinique des Malades aux Urgences (CCMU)

[21] Service Mobile d'Urgence et de Réanimation

3. L'attente se fait avec une priorité de passage en fonction du degré d'urgence, avec éventuellement des files d'attente distinctes par zone. Plusieurs files d'attente de différents types peuvent coexister : une zone d'attente «patients debouts», une zone d'attente «patients couchés» et éventuellement des zones distinctes en fonction de filières spécialisées.

4. Lorsque le patient est admis dans le service, la prise en charge est conjointe, infirmière et médicale.

5. La sortie du patient est en fonction de l'orientation.

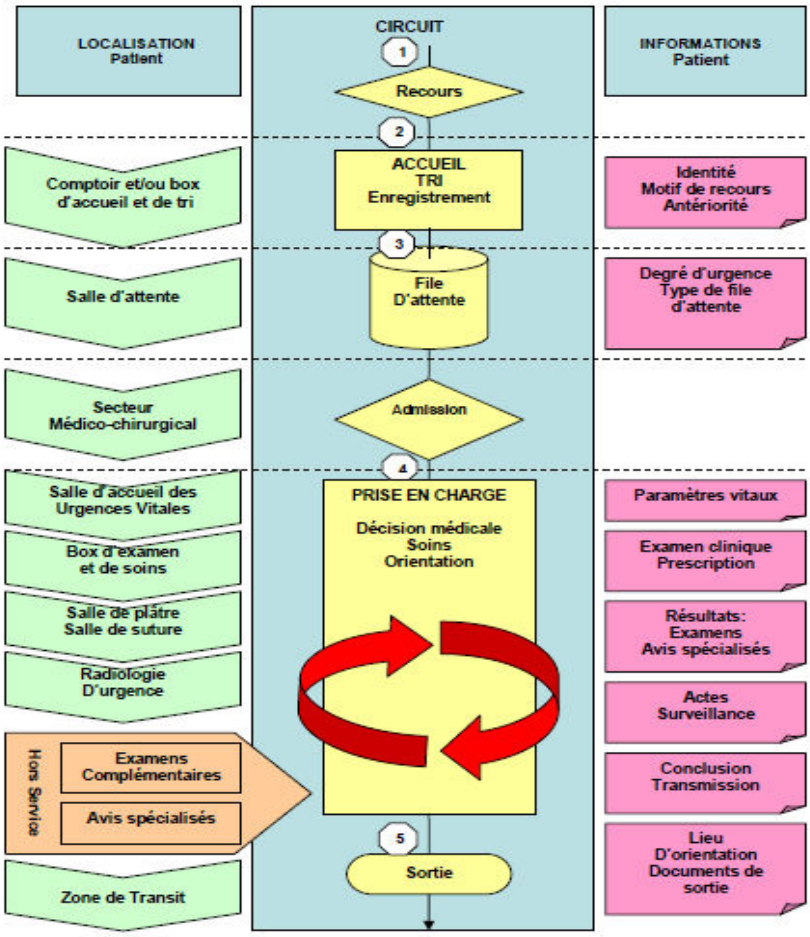

Figure III-2 Processus global de prise en charge du patient au service d'urgence

Le diagramme ci-dessus (figure III-2) regroupe les différents processus de prise en charge au centre, avec à droite les informations générées et à gauche la localisation du patient.

Il illustre aussi le parcours générique du patient au sein de la structure des urgences. Les moyens de communication les plus utilisés par le personnel du SU sont la radio et le téléphone, en plus du contact direct.

Nous proposons de déployer la technologie des agents intelligents comme approche de modélisation dans un contexte hospitalier. En s'inspirant des qualités des agents, les points communs entre la problématique au SU et le SMA sont présentés dans le tableau ci-dessous (tableau III-3).

Propriété	SMA/SU
La multiplicité des entités agissantes	Multiples entités aux rôles et compétences différents pour la réalisation de tâches indépendantes ou communes.
Les propriétés des entités	Les acteurs possèdent des objectifs, moyens et compétences nécessaires à l'exécution de tâches et suivent pour cela un ensemble de règles de gestion. Les agents possèdent des objectifs, compétences, rôles et capacités de raisonnement, qu'ils mettent en œuvre selon différents modes décisionnels complexes.
L'habilité sociale des entités	Les agents sont autonomes, sensibles aux modifications de l'environnement, proactifs (initient les prises de décisions et d'actions) et disposent de capacités sociales.
Les capacités décisionnelles	Les prises de décision se font au travers de méthodes de coordination et/ou de négociation entre les acteurs. Apprentissage et raisonnement sont nécessaires à la prise de décision individuelle et collective pour les acteurs. Capacités de raisonnement,

	connaissances acquises ou modifiées par interaction avec l'environnement sont possibles pour les agents.
La coordination entre entités	Coordination des acteurs par le partage de flux matériels, informationnels, monétaires ou décisionnels. Coordination des activités des agents par interactions avec les autres agents.
La distribution et l'incomplétude de l'information	Un acteur accède à des informations incomplètes, partagées le long des frontières du système. Les agents possèdent des informations incomplètes, les partages d'informations et/ou de connaissances s'effectuent par échanges de messages.
La répartition des tâches	Les tâches des acteurs peuvent être décomposées et données en responsabilités à d'autres acteurs. Les agents peuvent déléguer des tâches ou bien partager des tâches pour la résolution de problèmes complexes.
L'évolutivité des systèmes	Le service d'urgences est considéré comme une structure dynamique, les acteurs s'inscrivent ou quittent le processus de soin. Les agents peuvent rejoindre le système et d'autres peuvent être détruits.

Tableau III-3 Analogie entre les propriétés de prise en charge au SU et SMA

III.3.2 Système multi-agent proposé

Suivant l'acheminement classique d'un patient au service d'urgences (figure III-2) et les caractéristiques des systèmes multi-agents, nous proposons un système dynamique et ouvert (Zgaya, 2007) basé sur l'interaction de cinq types d'agents logiciels [daknou et al, 08]: l'Agent Accueil (AA), l'Agent Identificateur de problème (AId), l'Agent Ordonnanceur (AO), l'Agent Suivi (AS) et le(s) Agent(s) Mobile(s) Personnel de l'équipe médicale (AMP(s)). Notre système est présenté par la figure III-3.

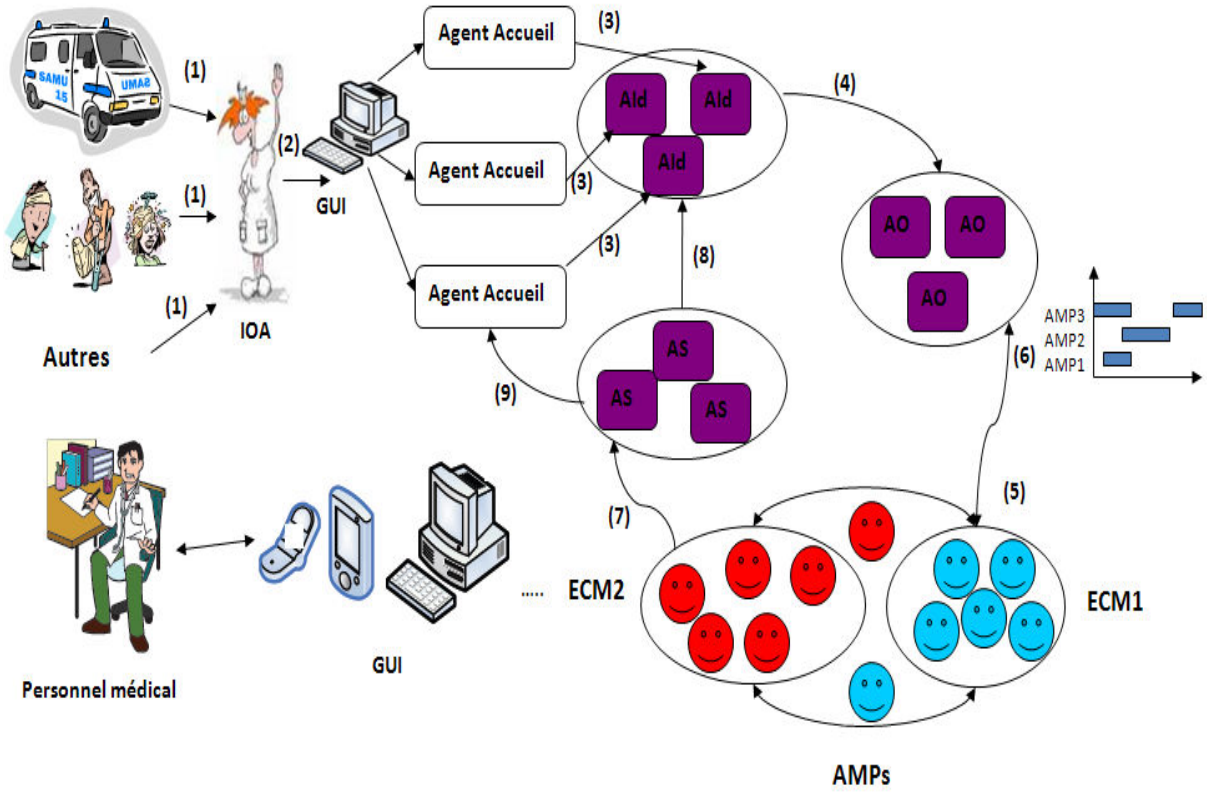

Figure III-3 Architecture multi-agent proposée

Pour concevoir notre système multi-agent, nous nous référons à la méthodologie O-MaSE (comme décrit dans le paragraphe II-2-5-5). L'objectif principal est d'améliorer la prise en charge des patients au SU en terme de temps d'attente et ce, même en cas de perturbations liées aux événements imprédictibles qui peuvent survenir au cours de l'accomplissement des traitements tel que l'arrivée de nouveaux patients en urgence vitale.

III.3.2.1 Diagramme de but

Pour construire le diagramme de buts, on utilise la méthode de « décomposition ET/OU ». Cette méthode consiste à identifier les sous-buts liés à un but parent et à reconnaître s'ils sont nécessaires ou s'ils représentent des solutions alternatives pour un même objectif.

Dans notre cas, le but global du système est de minimiser le temps d'attente du patient au SU et ce, même en cas de perturbation. Cet objectif représente le but ultime, noté (but0). Le but0 dépend de la réalisation de trois buts fils. Pour commencer, il faut assurer l'accueil du patient (but1), par la suite, il faut le prendre en charge (but2) et enfin, assurer le suivi du patient (but3). L'accueil du patient (but1) se traduit par le but1.1 qui comprend l'enregistrement du patient, le but1.2 qui consiste à identifier l'état du patient et le but1.3 qui assure l'orientation du patient. Le but1.2 dépend à son tour de la réalisation de quatre buts fils. En effet, afin d'identifier l'état du patient pour préciser son degré d'urgence, on doit commencer par identifier le type de pathologie du patient (but1.2.1). Par la suite, il faut reconnaître les différentes opérations de soin nécessaires pour le traitement (but1.2.2). Puis, il faut identifier les besoins en ressources tant humaines que matérielles indispensables pour le traitement (but1.2.3). Enfin, on doit affecter les priorités aux opérations de soin (but1.2.4). Afin de prendre en charge le patient au SU (but2), on doit commencer par trouver le personnel médical à affecter (but 2.1). A ce niveau, il faut prendre en compte le degré de connaissance du personnel médical. En effet, les membres du personnel médical n'ont pas tous la possibilité d'exercer certains actes médicaux. Il ne faut donc affecter que le personnel médical qui a un degré de connaissance supérieur ou égal à un seuil prédéfini par un expert. Après, il faut générer l'ordonnancement des opérations de soin (but2.2) qui consiste à trouver la meilleure affectation des ressources humaines et matérielles nécessaires aux opérations de soin selon leur disponibilité en utilisant des algorithmes d'optimisation. Ceci consiste bien évidement au calcul des temps de début et de fin de chaque opération ainsi que la date de la disponibilité des ressources humaines et/ou matérielles. Par la suite, on transmet la solution aux personnes cibles pour qu'elle soit exploitable par le personnel du SU (sur un PC ou un PDA) (but 2.3). Ce qui va entrainer le but 2.4 qui consiste à assurer le traitement du patient. Enfin, il faut faire face aux situations d'exception et gérer les perturbations (but 2.5). Le but2.5 du diagramme représentant la gestion des perturbations est décomposée en deux sous-buts. En effet, la gestion de la perturbation se traduit par le but2.5.1 qui est la détection de la perturbation qui va enclencher le deuxième but2.5.2 à savoir la recherche d'une solution réactive en conséquence. La gestion de perturbation concerne un nouveau patient en état grave qui vient

d'arriver au SU ou bien la dégradation de l'état d'un patient déjà présent au SU. Son orientation consiste principalement en deux actions: relier l'information de la perturbation au personnel de l'équipe médicale et leur proposer une nouvelle affectation. En outre, le membre médical s'intéressant exclusivement aux informations de perturbation qui le concerne, une action de filtrage apparaît obligatoire. Ce qui nous ramène à la décomposition du but2.5.2 en deux sous-buts : il faut proposer un nouvel ordonnancement bis (but2.5.2.1) qui prend en considération l'impact de la perturbation détectée (retard, décalage, insertion) sur le séquencement des opérations de soin du personnel concerné en prenant en compte sa position dans l'ordonnancement déjà établi et enfin, il faut informer le personnel touché par la perturbation (but2.5.2.2).Le diagramme de but ainsi construit est présenté dans la figure III-4.

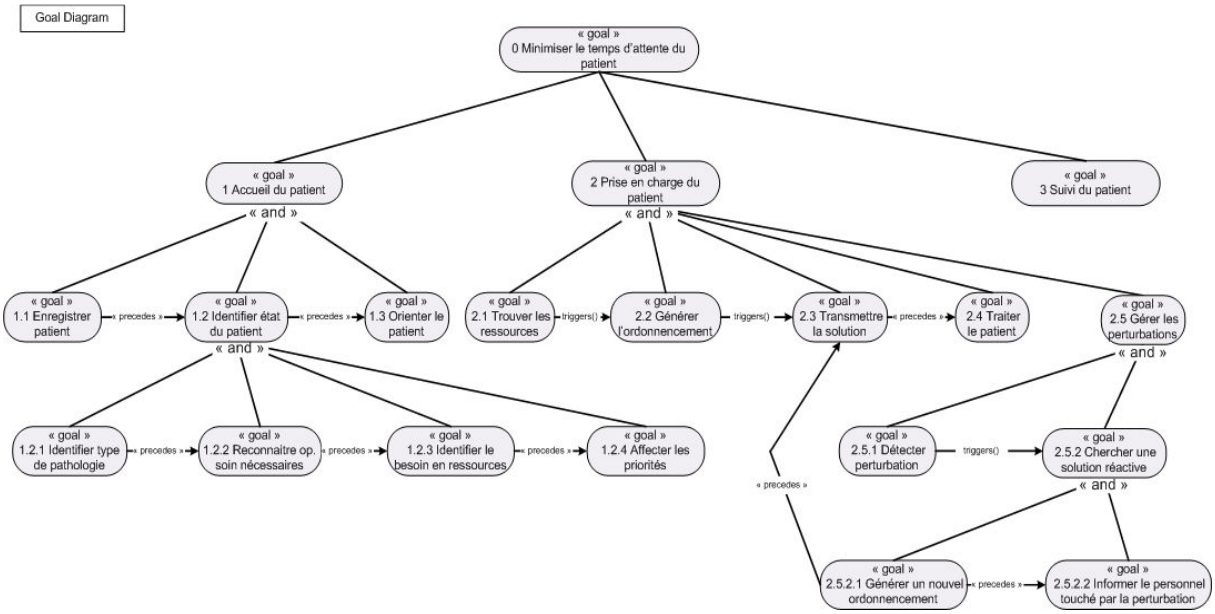

Figure III-4 Diagramme de but

III.3.2.2 Diagramme de rôles

Notre objectif est de créer le diagramme de rôle qui décrit les différents rôles pouvant être joués par les agents du système. Pour chaque but/sous-but identifié précédemment, nous devons créer un rôle pouvant le réaliser. Un rôle peut en occurrence réaliser deux buts en même temps. Afin de réaliser un but, un rôle doit avoir à sa disposition une (ou plusieurs) «capacité» qui se traduit généralement par des plans d'exécution (diagramme d'état-transition décrivant la manière selon laquelle un agent doit se comporter).

Comme décrit précédemment, douze but-feuilles composent notre diagramme de buts. Pour les réaliser nous avons identifié onze rôles comme suit (voir Figure III-5).

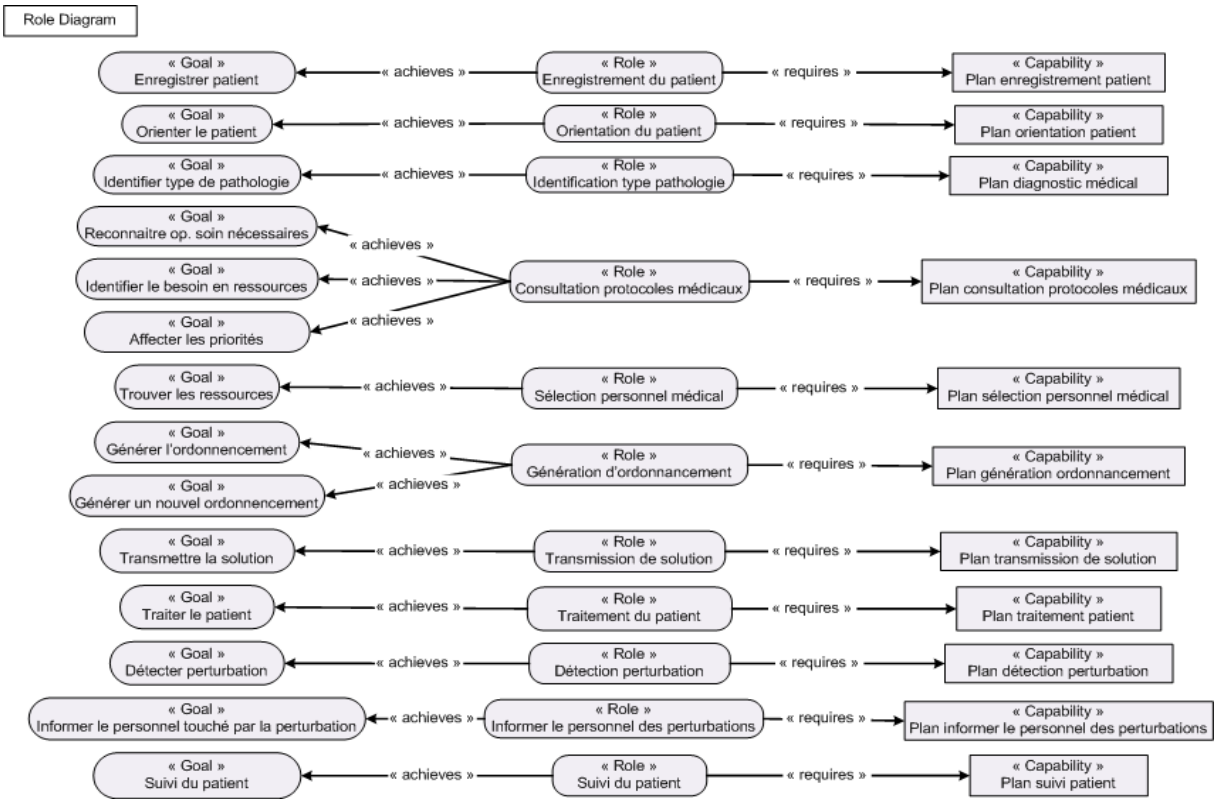

Figure III-5 Diagramme de rôle

Pour le but1.1 « enregistrer le patient », nous identifions le rôle « enregistrement du patient » grâce au «plan enregistrement patient». Pour le but1.3 «orienter le patient», nous créons le rôle «orientation du patient» qui requiert la capacité «plan orientation patient». Pour le but1.2.1 «identifier le type de pathologie», nous créons le rôle «identification type pathologie» et il nécessite la capacité «plan de diagnostic médical». Pour les but1.2.2 «reconnaitre les opérations de soin nécessaires», le but1.2.3 «identifier les besoins en ressources humaines et/ou matérielles» et le but1.2.4 « affecter les priorités », nous créons le rôle «consultation des protocoles médicaux» qui nécessite la capacité «plan consultation des protocoles médicaux». Pour le but2.1 «trouver le personnel médical à affecter» nous créons le rôle «sélection du personnel médical» qui requiert la capacité «plan de sélection personnel médical». Les but2.2 «générer un ordonnancement» et but2.5.2.1 « générer un nouvel ordonnancement » est réalisé par le rôle «génération d'ordonnancement», ce rôle dépend du «plan ordonnancement». Le but2.3 «transmettre la solution» est réalisé par le rôle «transmission de la solution» qui nécessite le plan d'exécution «plan de transmission de la solution». Le but2.4 «traiter le patient» est réalisé par le rôle «traitement du patient» qui découle du « plan traitement patient ». Le rôle «détection perturbation» réalise le but2.5.1 «détecter perturbation» et il nécessite la capacité «plan détection perturbation». Après, nous

avons identifié le rôle «informer le personnel de la perturbation» qui permet de réaliser le but2.5.2.2 «informer le personnel touché par la perturbation» et qui nécessite le «plan informer le personnel des perturbations». Enfin, le but « suivi du patient » qui requiert le rôle «suivi du patient» et dépend du «plan suivi».

III.3.2.3 Diagramme d'Agent

Ce diagramme est créé afin qu'il y ait au moins une catégorie d'agent possédant toutes les capacités nécessaires pour jouer chaque rôle. Chaque classe représente un modèle pour un type d'agent qui pourra être instancié plusieurs fois selon les besoins du système. La philosophie de la modélisation O-MaSE fournit une grande flexibilité de conception. De plus, le faite de séparer le rôle de l'agent lui-même permet de réduire le nombre d'entités mises en place dans le système. En effet, il y aura un nombre minimal d'agents qui assurent le bon fonctionnement du système et changeront les rôles joués selon la situation. Ainsi, on assure une optimisation de l'utilisation des ressources mémoire.

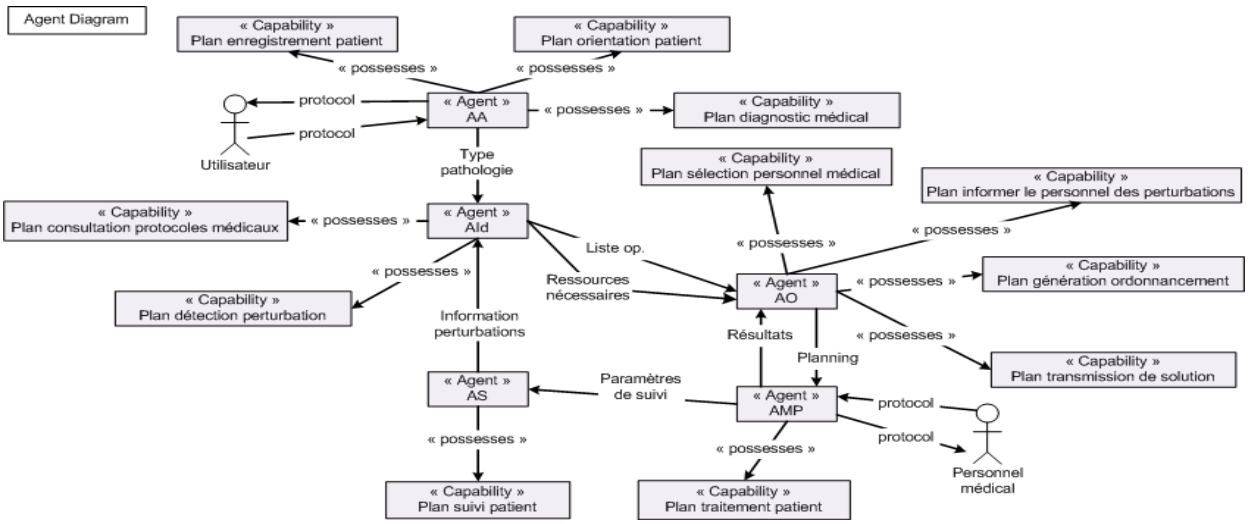

Figure III-6 Diagramme d'agent

Pour l'exécution de notre système, cinq agents au moins doivent fonctionner simultanément (voir Figure III-6). Un premier agent qu'on notera «AA» jouera d'une part les rôles d'enregistrement et d'orientation du patient et d'autre part d'identification de la pathologie. Ainsi l'agent AA doit posséder toutes les capacités requises par ces rôles : plan enregistrement, plan diagnostic médical et plan d'orientation du patient. Un deuxième agent qu'on notera «AId» jouera les rôles de consultation des protocoles médicaux et de détection

de perturbation, il aura donc besoin de la capacité plan consultation protocoles médicaux et plan détection perturbation. Un troisième agent «AO» jouera les rôles identification des ressources humaines à affecter, génération d'ordonnancement et transmettre la solution, il aura besoin des capacités : plan sélection des compétences, plan de génération d'ordonnancement et plan de transmission de la solution. Un quatrième agent «AMP» jouera le rôle de traitement du patient en utilisant le plan de traitement du patient. Enfin, un cinquième agent «AS» jouera le rôle suivi du patient il aura donc besoin de la capacité plan suivi.

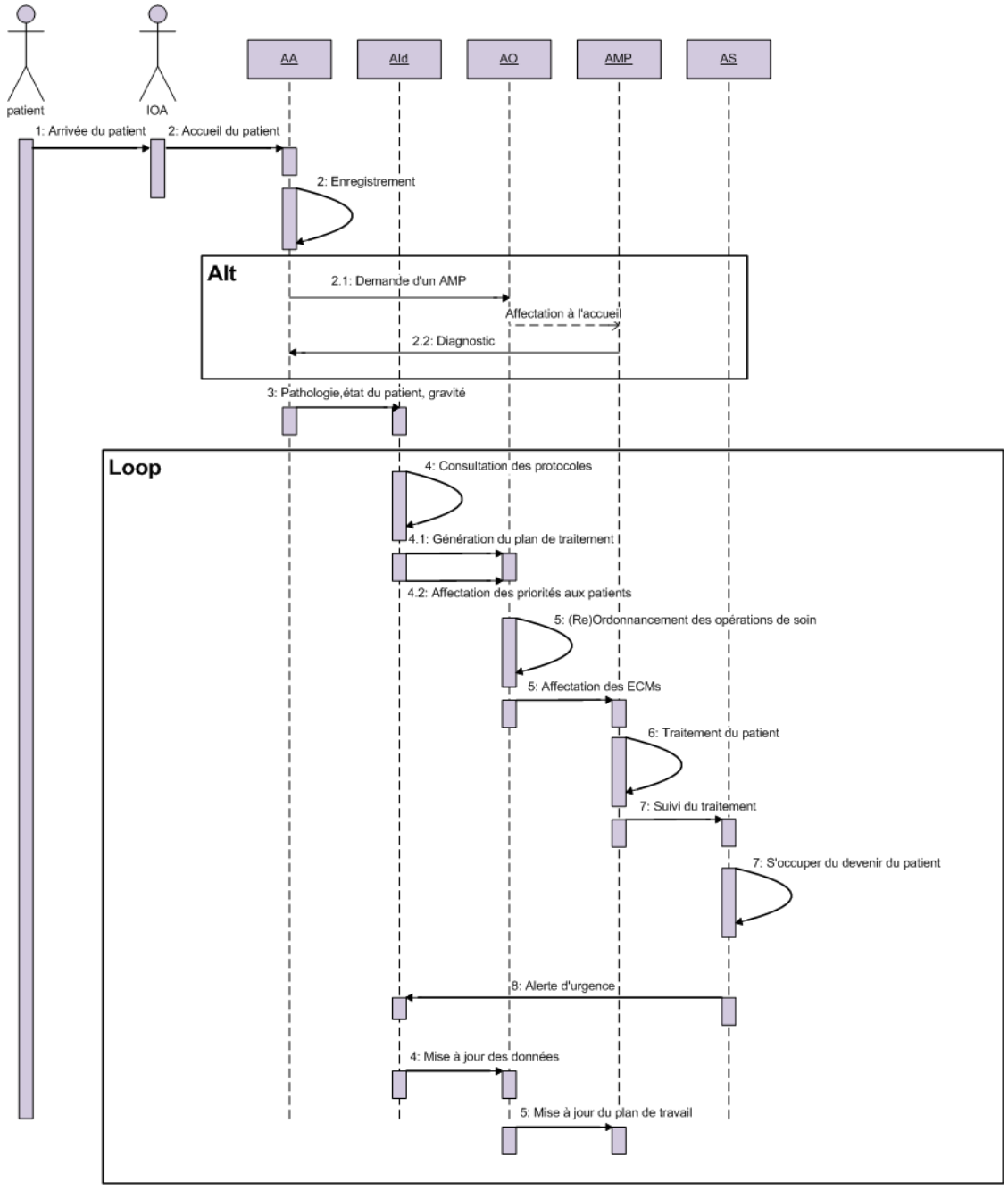

Figure III-7 Comportement global du système

L'interaction et le comportement des différents agents de l'architecture proposée à l'arrivée du patient sont exprimés par le diagramme de séquence de la figure III-7.

(1) A un instant *t*, à l'arrivée d'un patient au SU, (2) l'IOA s'occupe de lui et transmet l'ensemble des informations nécessaires à un agent AA dont la tâche est de s'occuper du dossier médical du patient et de son orientation vers l'unité de soin adéquate. Ayant la compétence nécessaire de pré-trier les patients selon l'urgence, cet agent fait intervenir, si nécessaire, un médecin pour identifier :

- l'état du patient : afin de préciser son degré d'urgence initial (exprimant sa priorité) qui doit être pris en considération pendant le traitement sachant qu'il peut changer au cours du temps;
- le type de pathologie : afin de reconnaître les différentes opérations à accomplir pour la traiter, ce qui permet d'orienter le patient vers l'unité de soin appropriée

Sachant que dans un service d'urgence, plusieurs patients peuvent arriver en même temps, plusieurs AA peuvent dans ce cas les accueillir simultanément (éventuellement dans la limite du nombre de postes d'accueil disponibles). (3) Cet événement déclenche la création d'un agent AId (ou la sollicitation d'un agent AId déjà existant) qui joue le rôle d'un médecin régulateur puisqu'il définit les besoins pour traiter le patient. Cet agent permet de déterminer l'équipe médicale traitante (infirmier(e), médecin urgentiste, spécialiste, radiologue etc.) et les ressources matérielles à mettre en œuvre pour le soin (lit dans une unité de soin spécifique, défibrillateur etc.) et d'affecter des priorités aux patients, selon leur situation clinique, en se basant sur les protocoles médicaux prédéfinis. Si ces protocoles permettent l'obtention d'un premier degré de contrôle de la coordination des soins, ils se limitent à la description de procédures schématiques qui dépeignent l'attitude à avoir devant un problème précis. Ils ne permettent donc pas de garantir une répartition des tâches adaptée à la configuration du SU, ni de contrôler leur bonne exécution. (4) Ensuite, un agent AO est créé (ou sollicité) pour optimiser l'affectation les opérations de soin nécessaires au traitement des patients au personnel de l'équipe médicale du SU. Le choix des ressources humaines et matérielles doit permettre de minimiser les temps d'attentes des patients ainsi que les coûts de production. Le personnel médical du SU peuvent utiliser leurs appareils (par exemple : ordinateur, PDA, téléphone mobile) afin de communiquer avec le système pour l'informer des éventuelles modifications concernant l'état des patients et recevoir les tâches de soin à faire. (5) Ainsi un certain nombre d'agents AMP seront créés (ou sollicités) pour assurer le traitement et le suivi des patients. (7) Un agent AS sera également créé pour s'occuper du devenir du patient

(sortie, hospitalisation, transfert vers une autre unité de soin etc.). (8) Il doit donc communiquer avec l'agent AId en cas de détérioration de son état médical pour reconstituer l'équipe médicale adéquate pour son traitement et donc de nouvelles ressources matérielles et/ou humaines qu'il doit identifier selon leur disponibilité. Ces nouvelles opérations doivent donc s'introduire convenablement dans l'ordonnancement en cours opéré par l'AO (re-ordonnancement). L'agent AO doit gérer l'arrivée des nouveaux patients classés prioritaires en permettant la préemption d'opérations de soin moins prioritaires en cours d'exécution et qui peuvent attendre afin de prendre en charge des patients jugés en urgence vitale. Dans le cas d'absence de patients, c'est-à-dire que si le temps d'attente des agents a atteint la période d'inactivité notée par $\Delta\infty$, les agents seront détruits automatiquement par le système.

III.3.2.4 Diagramme de plan

La modélisation des plans d'exécution permet de décrire les algorithmes utilisés par les agents afin d'atteindre un objectif ou un ensemble d'objectifs. Nous détaillons dans ce paragraphe les diagrammes de plan des capacités identifiées précédemment.

III.3.2.4.1 Plan sélection des ressources humaines

Pour trouver les membres de l'équipe médicale les plus appropriés pour la réalisation d'une opération de soin, l'agent AO jouant le rôle de « sélection du personnel médical » se base sur un paramètre noté « degré de connaissance » pour chaque compétence médicale nécessaire dans le processus du soin. Le système évalue alors la correspondance entre la compétence requise pour l'acteur telle quelle est contenue dans la définition de la tâche soin et les qualités réelles du personnel médical disponible. Les capacités des agents AMPs retenus pour exécuter l'opération de soin définissent le rôle pragmatique. Celui-ci dépend donc du contexte du moment de l'attribution d'une opération. Si on prend comme exemple le cas où les infirmières sont indisponibles et il y a un retard important à l'administration de l'antalgique. Seuls deux autres acteurs sont disponibles : le médecin qui a en charge le même patient et une aide-soignante. Le contexte d'urgence relative permet d'attribuer la tâche au médecin habilité à dispenser des médicaments et non à l'auxiliaire qui ne l'est pas. Le mécanisme de choisir les agents concernés se fait en fonction des compétences requises, des compétences reconnues aux agents et du contexte. Cette dernière repose à son tour de la disponibilité du personnel, de l'urgence de la situation (priorité de l'opération) et les affectations par défaut. Les éléments du contexte (nature de la tâche, état clinique du patient)

permettent à l'agent AO d'affecter le travail à une personne plus compétente ou tout simplement disponible à ce moment-là. L'affectation est importante en situation d'exception pour limiter les situations où une tâche urgente est en attente. Elle nécessite une communication efficace entre l'agent AO et l'agent AMP intéressé par l'exécution de la tâche. Ce traitement est schématisé dans la figure III-8.

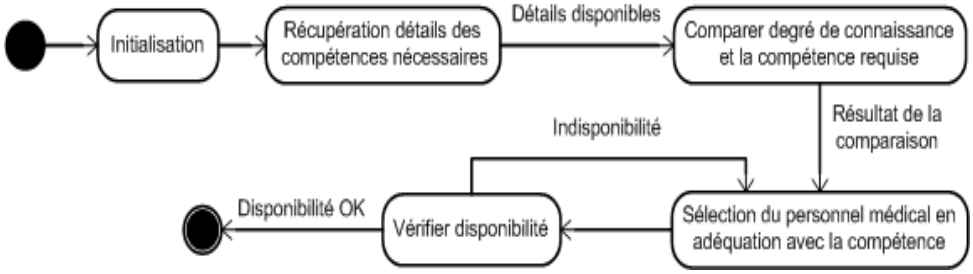

Figure III-8 Plan sélection personnel médical

III.3.2.4.2 Plan ordonnancement

Dès que l'agent AO récupère les détails des opérations de soins à affecter de la part de l'agent AId jouant le rôle « consultation protocoles médicaux », il déclenche l'exécution du « plan ordonnancement ». Ce plan consiste dans un premier temps à trié les opérations de soin selon leur priorité du plus urgent au moins graves. Puis, pour chaque opération on affecte la ou les personnes maîtrisant la ou les compétences requises pour son exécution en tenant compte de la contrainte de disponibilité. Cette information est disponible de la part de l'agent AO jouant le rôle « sélection personnel médical ». Et enfin, il faut affecter les ressources matérielles nécessaires au bon déroulement du traitement. Il faut aussi tenir compte des limites d'utilisation des ressources matérielles. Par exemple, on peut être ramené à décaler les heures de perfusions d'antibiotiques selon le nombre de seringues électriques existant dans le service. De la même façon, certains équipements lourds comme les appareils d'hémodialyse n'existent qu'en petit nombre, ce qui impose de planifier au mieux leur utilisation. Ces informations permettent à l'agent AO de calculer les dates de début et de fin des opérations de soin ainsi que les temps d'attente. Enfin, il faut proposer la solution au personnel médical selon le plan « transmission solution ». La figure III-9 détaille le plan d'ordonnancement.

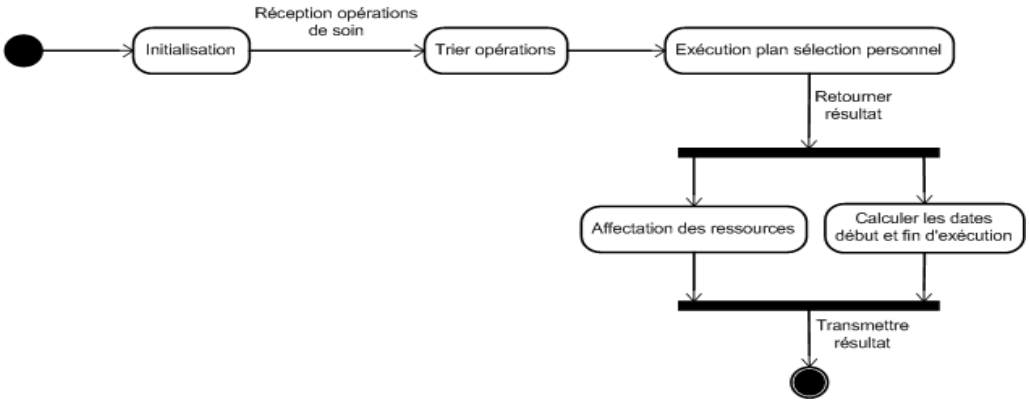

Figure III-9 Plan d'ordonnancement

III.3.2.4.3 Plan suivi

Ce plan (figure III-10) permet à l'agent AS d'évaluer le résultat du traitement et de prendre en charge le devenir du patient. Plusieurs alternatives se présentent alors:

- Traitement est un succès donc fin du cycle de prise en charge. Dans ce cas, le patient peut quitter le service.
- Traitement est un succès mais doit être poursuivi donc prolongation du cycle de prise en charge.
- L'évaluation induit à la création de nouveau diagnostic donc renouvellement du cycle de prise en charge.

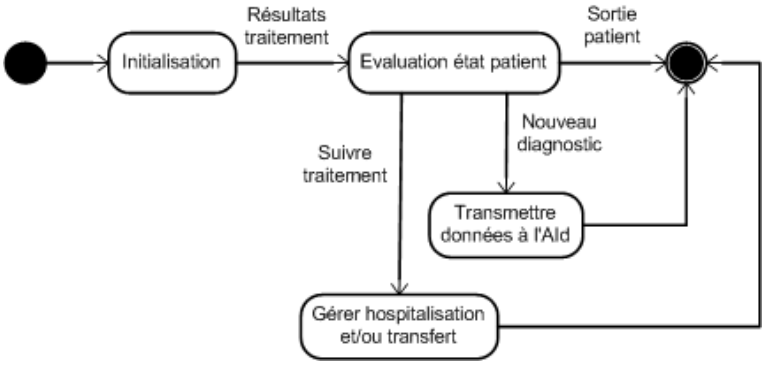

Figure III-10 Plan suivi

III.3.2.4.4 Plan de détection de perturbation

La détection de perturbation (figure III-11) est le rôle accompli par l'agent AId afin de permettre au système SADSU de s'adapter à la réalité et de réagir aux difficultés imprévues dans le déroulement du traitement. Une situation qui peut obliger l'agent jouant le rôle

d’ordonnanceur à générer un nouvel ordonnancement pour modifier une affectation et prendre en considération de nouveaux paramètres.

Il y a 3 scénarios possibles de perturbations qui peuvent paraitre au SU.

- Le premier est l’arrivée d’un patient en état grave et donc l’agent AId doit signaler cette gravité à l’agent AO pour prendre les mesures nécessaires.
- Le deuxième est une perturbation qui résulte de la dégradation de l’état d’un patient déjà présent au SU. S’il n’est pas encore pris en charge, l’IOA doit signaler cette urgence à l’agent AId comme la priorité des opérations de soin va augmenter. Sinon dans le cas où le patient est déjà pris en charge, l’agent AS transmet le détail de l’urgence à l’agent AId pour identifier un nouveau plan de traitement selon les protocoles médicaux.
- Le troisième consiste à sous-estimer la durée d’une opération de soin ce qui provoque un retard pour toutes les opérations de soin qui suivent celle sous-estimée. L’agent AId doit prendre connaissance de cette perturbation qui à son tour va la transmettre à l’agent AO.

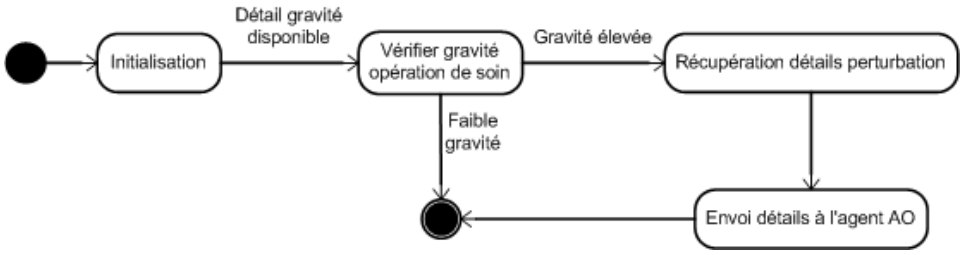

Figure III-11 Plan de détection de perturbation

III.4 Description du comportement des différents agents dans le système

Nous décrivons dans ce paragraphe les comportements des différents agents du SADSU jouant les rôles identifiés précédemment.

III.4.1 GUI pour le praticien du service d’urgences

L'interface graphique de praticien a été conçue pour les fins suivantes:

- Affichage de l'identification de compte émis par le système du SU.

- Alimenter le problème principal, signe-symptôme et les observations du patient en difficulté.
- Transmettre l'information à l'agent accueil.
- Affichage du diagnostic des maladies et des plans de traitement.

III.4.2 Agent Accueil (AA)

Dès qu'un patient a recourt aux urgences, l'IOA l'accueille et déclenche la création d'un agent logiciel AA qui joue le rôle « enregistrement du patient » en lui créant le dossier médical. Ainsi, un agent AA est créé en temps réel pour l'aider et l'enregistrer dans le système. Le même agent peut assurer cette tâche plusieurs fois de suite tant qu'il y a un flux d'entrée consécutif de patients sinon le système le détruit après une période d'inactivité $\Delta\infty$. Un autre agent AA sera créé au besoin et ainsi de suite. Les agents AA envoient donc les données récoltées grâce à l'IOA à l'agent AId disponible. Ce même agent joue le rôle « orientation du patient » afin de guider le patient à la salle de soin recommandée. La figure III-12 détaille le comportement de l'agent AA vis-à-vis du SADSU.

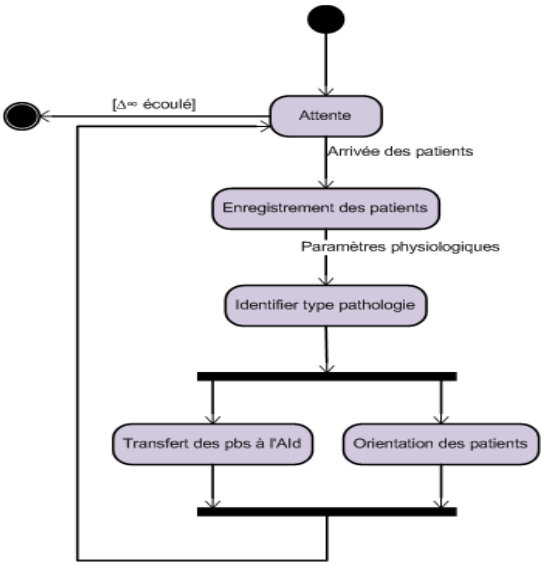

Figure III-12 Diagramme d'activité de l'Agent Accueil

III.4.3 Agent Identificateur de problème (AId)

Un agent AId disponible interagit avec les agents AA afin de recevoir les problèmes médicaux des patients arrivés au SU avec certains paramètres physiologiques (tension artérielle, fréquence cardiaque, température etc.) qui aident à élaborer un premier diagnostic et de générer le plan de traitement. S'il n'existe encore pas d'agent AId disponible dans le système, un nouvel agent AId est automatiquement créé. Tout d'abord, l'agent AId commence par consulter les protocoles médicaux déjà existants pour identifier les compétences et les ressources matérielles nécessaires pour traiter l'urgence. En plus, l'agent AId joue le rôle d'un médecin régulateur puisqu'il établit les priorités aux malades afin de gérer les files d'attentes. Enfin, cet agent transmet les données générées à l'agent AO qui va optimiser le choix des différents agents mobiles de l'équipe médicale ainsi que les ressources matérielles nécessaires selon les contraintes du service d'urgences (figure III-13).

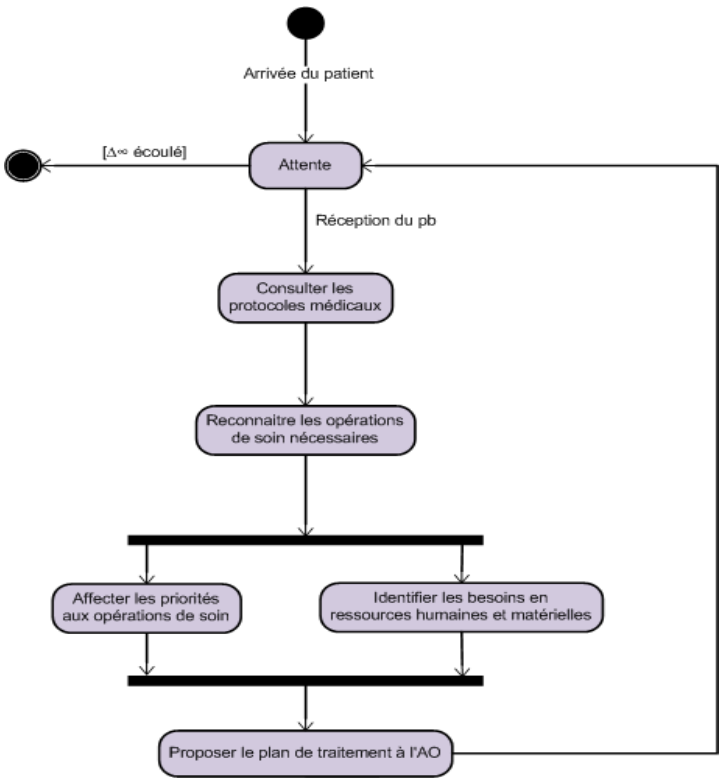

Figure III-13 Diagramme d'activité de l'Agent Identificateur de problème

III.4.4 Agent Ordonnanceur(AO)

Dès sa création, un agent AO génère dynamiquement le séquencement des tâches de soin, ce qui implique une dynamique dans la génération des acteurs des plans d'activités.

Ainsi, l'agent AO forme une Equipe médicale à Compétences Multiples (ECM) en calculant un nombre effectif d'agents AMPs qu'il créé et attribue ensuite à chacun le rôle de traitement. Cet ordonnancement est mis à jour à chaque fois que le flux d'entrée des patients varie considérablement. L'agent AO reçoit les données relatives à l'ensemble d'opérations de soin à effectuer pour traiter le patient ainsi que les ressources matérielles et l'ensemble des compétences nécessaires que doit acquérir l'équipe médicale. Ainsi, l'agent AO génère le plan de traitement en appliquant un algorithme d'ordonnancement dynamique et réactif (§II.6) en se basant sur ces données obtenues de la part de l'agent AId. Un agent AO doit optimiser l'affectation des opérations de soin aux agents AMPs maîtrisant les compétences nécessaires pour assurer la prise en charge des patients, en minimisant leurs temps d'attente (contrainte d'urgence vitale) et le coût total tout en respectant la qualité du soin. L'ensemble d'agents AMPs sélectionné par l'agent AO présente l'ECM nécessaire pour traiter un patient (problème médical). Une alerte d'urgence qui résulte du besoin d'un agent AMP déclenche un processus de mise à jour de l'activité des ECMs par l'agent AO. Cette situation peut nécessiter l'interruption d'une opération de soin en cours de réalisation et qui peut attendre et le déplacement des AMPs d'une équipe à une autre. En plus, s'il y a un besoin de coopération entre les membres du personnel médical du SU, l'AO organisera une réunion entre eux afin de rendre la décision plus conforme (figure III-14).

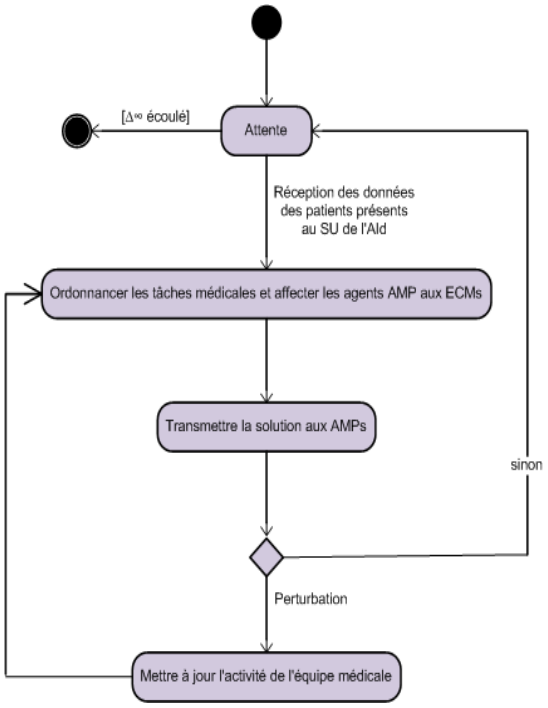

Figure III-14 Diagramme d'activité de l'Agent Ordonnanceur

III.4.5 Agent Suivi (AS)

L'agent AS s'occupe du devenir du patient : sortie, passer par l'Unité d'Hospitalisation de Courte Durée (UHCD), transfert vers une autre unité de soin etc. Il permet de prendre en charge les patients qui ont besoin d'une surveillance ou un traitement précis. Ainsi, cet agent est en relation non seulement avec des agents AMPs pour assurer le rôle de suivi mais en plus avec l'agent AId en cas détérioration de l'état médical du patient afin de solliciter les personnes qui maîtrisent les compétences nécessaires pour sa prise en charge. En plus l'agent AS va gérer les salles d'hospitalisation et les lits disponibles dans le SU puisque admettre un patient dans l'UHCD correspond à le placer dans un lit, dans une chambre, dans une structure hospitalière pour assurer une démarche diagnostique et les soins. Ainsi, l'agent AS contribue à une meilleure gestion des ressources hospitalières en optimisant les durées de séjour et en permettant une meilleure orientation des patients. Il permet aussi de prendre des décisions médicales plus performantes afin d'améliorer la sécurité des patients et la qualité des soins (figure III-15).

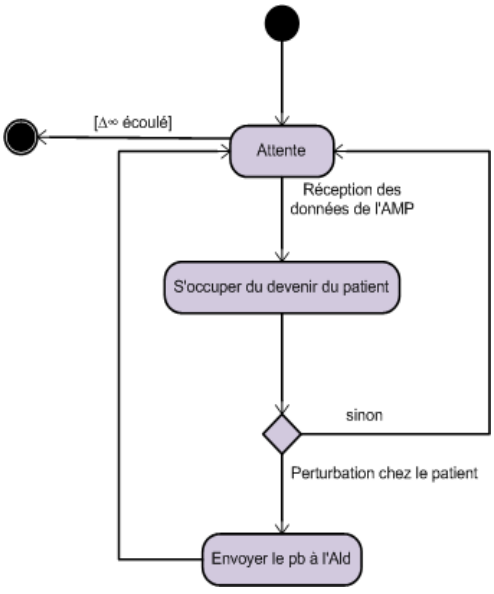

Figure III-15 Diagramme d'activité de l'Agent Suivi

III.4.6 Agent Mobile Personnel de l'équipe médicale (AMP)

Un agent AMP représente un membre de l'ECM. Contrairement aux autres agents dits « stationnaires », cet agent est doté de mobilité. Le but ici est de simuler le comportement

d'un personnel médical du SU dans un service d'urgence. En effet, ce dernier peut se déplacer d'une équipe médicale à une autre, opérant alternativement sur des patients différents, selon les compétences nécessaires pour les traitements correspondants. En outre, cet agent va échanger les paramètres de suivi et de surveillance des patients avec l'agent AS pour l'informer des possibilités d'orientation du patient : retour à domicile, hospitalisation de court séjour, hospitalisation en UHCD pour observation à but diagnostique, traitement de courte durée. Enfin, un AMP peut également intervenir au niveau de l'accueil pour identifier l'état d'un patient (figure III-16).

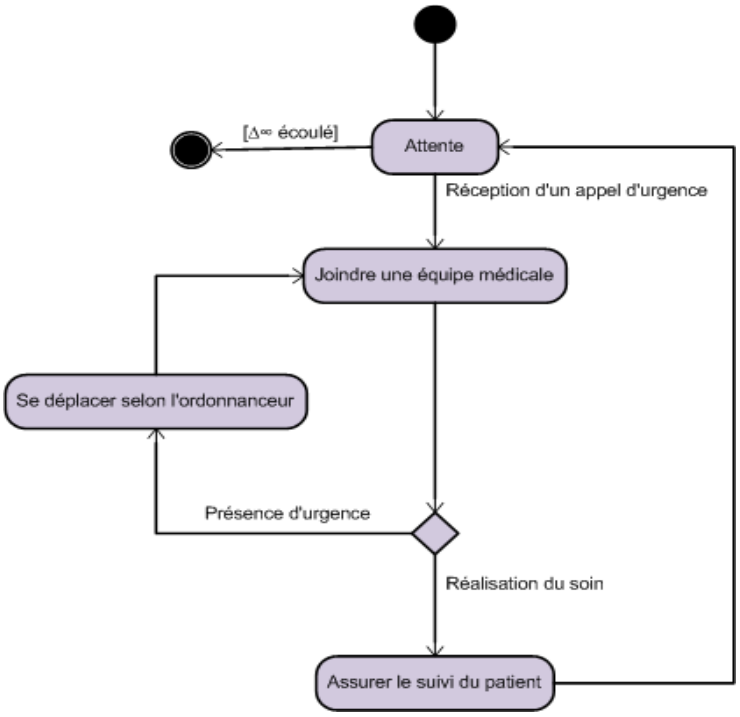

Figure III-16 Diagramme d'activité de l'Agent Mobile Personnel de l'équipe médicale

De nombreux acteurs sont impliqués dans le processus de prise en charge des patients au SU. Chaque acteur est représenté par un agent dans notre modèle proposé. Afin de choisir la meilleure organisation des agents pour améliorer la prise en charge des patients au SU, nous nous intéressons à la coordination des différents acteurs du SADSU. Pour cette fin, nous proposons d'étudier les caractéristiques de la coordination au SU dans la section suivante.

III.5 Les caractéristiques de la coordination au service d'urgence

Les circonstances relevées au SU démontrent que les transmissions des informations

entre les acteurs de soins ne sont pas toujours fiables. Cela entraîne des dysfonctionnements qui ne sont pas systématiquement suivi d'accidents mais qui représentent un risque d'autant plus élevé que l'activité est intense et les flux d'informations importants et variables. D'où la nécessité d'identifier avec précision les mécanismes de coordination au SU afin de développer des outils informatiques qui permettront d'assurer à la fois le suivi des transmissions de l'information et le contrôle de l'efficacité et de la cohérence de la coordination.

La coordination peut être définie comme « la gestion des dépendances entre les activités et la gestion des dépendances entre les acteurs » [Bordeau et Wasson, 1997]. Elle concerne alors tous les éléments permettant aux acteurs de s'entendre pour exécuter des tâches. Les éléments clés de la coordination sont donc les tâches, les acteurs et tout ce qui les relie. Nous décrivons dans ce qui suit ces différentes composantes.

III.5.1 Les tâches

Pour expliquer la notion de tâche, prenons les exemples d'une intubation, une injection et une distribution observés au SU :

- Une intubation: un médecin examine un patient souffrant d'une détresse respiratoire aiguë. Son évaluation lui permet de conclure la nécessité d'une assistance respiratoire artificielle pour ce patient. Il décide et pratique une intubation c'est-à-dire la mise en place, à partir du nez ou de la bouche, d'un tuyau en matière plastique dont l'extrémité est placée dans la trachée, juste sous les cordes vocales.
- Une injection: suite à l'administration d'un hypnotique, le patient présente une baisse de sa pression artérielle temporaire mais trop marquée pour être négligée. Le médecin décide de l'administration intraveineuse directe de 10mg d'éphédrine (sympathomimétique indirecte). L'infirmière à qui il a transmis l'information prépare la dilution dans une seringue puis l'injecte en trente secondes dans la tubulure de la perfusion du malade.
- Une distribution: un patient présente une infection respiratoire communautaire. Un traitement antibiotique par «amoxicille + ac.clavulanique» a été prescrit. L'infirmière délivre à 8h, 12h et 18h un comprimé de 1g de cet antibiotique.

Une tâche se diffère d'une autre selon sa nature (élémentaire/complexe), sa priorité et ses différentes contraintes temporelles comme son horaire, les délais qu'elle supporte et sa

durée.

III.5.1.1 Tâche élémentaire/complexe

Une tâche élémentaire est une action simple comme l'évaluation d'un paramètre physiologique ou la dispensation d'une dose médicamenteuse. Elle est considérée comme indivisible en sous-tâches selon une logique d'organisation du travail. Plusieurs tâches élémentaires peuvent être regroupées pour constituer une tâche complexe. Une tâche plus complexe encore, peut résulter de la combinaison d'autres tâches complexes. L'activité désigne un ensemble de tâches simples ou complexes reliées par un objectif fonctionnel commun. Ce sera par exemple «évaluer l'état d'un patient» ou «mettre en œuvre une assistance respiratoire». Le processus combine différentes activités afin d'atteindre un objectif global, par exemple «reconnaître et traiter une insuffisance respiratoire aiguë».

III.5.1.2 Priorité de la tâche

Les tâches peuvent être plus ou moins prioritaires en fonction de leur nature, de l'état du patient voire des contraintes externes liées au fonctionnement du SU. Par exemple, les amines vaso-actives comme l'adrénaline ou la noradrénaline ont une durée d'action très brève. De ce fait, leur administration continue ne tolère pas plus de quelques minutes d'interruption et le remplacement d'une seringue vide est donc fortement prioritaire. Mais si le patient est presque guéri, il vient un moment où l'arrêt de la perfusion devient possible sans conséquence. Autre exemple: un prélèvement peut être prioritaire simplement du fait du départ d'une navette vers un laboratoire d'analyses spécialisé lointain ou de l'arrivée d'un autre patient dans le SU.

III.5.1.3 Contraintes temporelles de la tâche

En médecine et particulièrement au SU, les tâches sont soumises à des fortes contraintes temporelles: horaires, délais, durée.

a) Horaires : pour chaque tâche, il est possible de définir plusieurs horaires: celui de la création de sa description, celui prévu pour sa réalisation, celui de sa réalisation effective, ou enfin l'horaire idéal auquel la tâche aurait du être exécutée. En réalité, ces horaires ne correspondent pas à des valeurs ponctuelles de temps mais à des intervalles dont l'expression se fera en secondes, minutes, heures ou jours en fonction de la nature de la tâche et des différentes contraintes qui s'y rapportent. De ce fait, chaque horaire peut être

anticipé ou retardé dans les proportions qui dépendent de celles-ci.

b) Délais : il est possible d'établir un délai c'est à dire le temps écoulé « raisonnablement » entre le début et la fin d'exécution de chaque tâche.
c) Durées : de la même façon, il est possible de définir différentes durées pour une tâche: durée prévue, durée observée ou encore durée idéale. Comme pour les horaires et les délais, les durées dépendent de la nature de la tâche ainsi que de contraintes externes à celle-ci comme le fonctionnement de l'unité.

Afin d'être certain que les tâches soient réalisées dans les meilleures conditions, il est nécessaire d'optimiser la coordination des personnes pour que chacune d'entre elles puisse être prise en charge par l'acteur approprié (infirmière, médecin...). Ces objectifs nous amènent à chercher à améliorer la transmission des informations entre la tâche et l'acteur susceptible de la réaliser. Les caractéristiques des tâches de soins et leur variabilité dans le temps ne permettent pas d'utiliser une méthode d'optimisation statique qui puisse être calculée avant l'introduction du patient dans le processus de soins. Il n'y a, en effet, aucune garantie de la stabilité de la priorité d'une tâche, ni de la disponibilité d'un acteur au cours du temps. D'ailleurs tous ces éléments ne sont pas connus avec certitude lors de la prévision d'un acte. Leur calcul est quasiment impossible ne serait-ce qu'en raison du facteur «comportement humain». On en conclut que la répartition des tâches doit être **adaptative**.

III.5.2 Les acteurs

Les acteurs rassemblent les différentes personnes susceptibles de prendre en charge l'exécution d'une tâche. Il s'agit donc de l'ensemble du personnel du service d'urgences auquel il faut adjoindre les correspondants extérieurs habituels (kinésithérapeutes, consultants d'autres services). Un acteur est caractérisé par quatre propriétés :

- La première caractéristique d'un acteur est sa disponibilité: il peut être présent ou absent de l'unité; et lorsqu'il est présent, il peut être disponible ou déjà occupé.
- La seconde est sa qualité: médecin ou infirmière. Le médecin prescrit et réalise différents actes techniques spécifiques dit «médicaux», l'infirmière dispense les soins aux patients en fonction des différentes prescriptions. Au sein d'une même catégorie il est possible de distinguer des compétences particulières en fonction de spécialisations ou de connaissances spécifiques. En France, ces attributions sont encadrées par

différents textes législatifs (code de la santé publique, règles de déontologie, recommandations des sociétés savantes...). Pour être exhaustif nous devons citer les autres catégories de personnel qui participent à l'activité de soins comme les aides-soignants, les agents hospitaliers, les secrétaires et les hôtesses, les diététiciens, les kinésithérapeutes ou les sages-femmes.

- Une troisième caractéristique de l'acteur est son expérience et, il est courant de distinguer les étudiants des personnels confirmés.
- Enfin une dernière caractéristique a trait à la connaissance que possède l'acteur sur l'historique médical d'un patient et sur les derniers événements survenus dans l'unité.

Habituellement, un acteur quelconque ne peut réaliser toutes les tâches d'où l'intérêt d'établir les règles de lien entre les tâches et les acteurs.

III.5.3 Relation entre les tâches et les acteurs

Il doit avoir une adéquation entre les qualités requises par la tâche et la fonction ou les compétences reconnues de l'acteur cible. L'acteur ne peut pas se contenter de consulter simplement des listes de tâches sans avoir de rôle défini. En aucun cas, il ne peut non plus être informé de toutes les tâches à exécuter. Pour éviter ces deux écueils, il est impératif de faire la distinction entre les tâches qui le concernent et celles qu'il n'a pas à prendre en compte à un instant donné. L'optimisation de la répartition des tâches est un défi important ; Il comporte plusieurs dimensions (au moins trois). L'optimisation de chacune de ces dimensions peut être incompatible avec celle d'une autre.

- Une première approche d'optimisation centrée sur le patient: pour un patient donné, une répartition optimale affectera chaque tâche à un acteur disponible ayant les compétences requises ;
- Une deuxième construite autour de l'acteur: la répartition des tâches cherchera à les ordonner par ordre de priorité selon la gravité et pour plusieurs patients simultanément selon la connaissance et la compétence.
- Une troisième privilégie la gestion des ressources en personnel. Dans ce cas, la répartition optimale ne tiendra pas compte des priorités des acteurs mais cherchera à répartir l'ensemble des tâches afin d'homogénéiser la charge de travail et répartir au mieux les pics d'activité.

On peut proposer d'autres critères d'optimisation. La répartition optimale n'existe pas en tant que solution applicable en toutes circonstances car les différents paramètres pris en compte pour la construire sont souvent partiellement contradictoires. Il faut donc chercher à définir une répartition optimisée en temps réel. Cette solution sera construite en s'appuyant sur une identification et une hiérarchisation de critères pertinents. Toutes les tâches n'auront donc pas le même poids dans le mécanisme de répartition. Il est alors nécessaire de définir une fonction de classement afin de décider d'une méthode d'organisation de ces tâches permettant de les répartir en traitant en premier lieu les tâches critiques, ce qui constitue un ordonnancement. Le contexte médical permet de proposer comme critère de premier ordre le respect de la priorité des tâches. En effet, c'est ce paramètre qui est susceptible d'avoir la plus forte incidence clinique. En tout état de cause, il apparaît que la répartition des tâches doit être ***optimisée***.

Chercher à améliorer la répartition des tâches de soins impose rapidement de prendre en considération la dimension collective des processus de soins. Le moindre problème médical fait immédiatement appel à plusieurs intervenants; s'il s'agit d'un dépistage ou d'un diagnostic, le médecin se fera aider par les services d'un ou de plusieurs laboratoires d'analyses ou d'imagerie, voire de l'avis d'experts. S'il s'agit d'un traitement, sa mise en œuvre nécessitera le plus souvent l'intervention coordonnée de médecins spécialisés, d'infirmiers et d'aides-soignants. Toutes ces actions nécessitent, pour la gestion des informations qui leur sont nécessaires, que soient prises en compte les dimensions temporelles (successions, synchronisation), spatiales (les intervenants peuvent être distants les uns des autres) et organisationnelles (les actions doivent être concertées) du processus de soin. L'ordonnancement des tâches et des activités peut être partiellement ou totalement spécifié à l'avance, lors de l'analyse des processus.

III.6 Approches et algorithmes d'optimisation proposées

Dans notre SMADSU, les agents ayant les différentes compétences agissent en collaboration au nom d'un patient. Comme une équipe de médecins et infirmier(e)s travaillent en coordination sur un patient, chaque agent dispose de compétences spécialisées et de connaissances propres à lui. Chaque avis d'un membre d'agent est considéré comme un expert dans son domaine particulier. Cette description du système montre l'importance du rôle « ***optimisateur*** » que joue l'agent AO dans le service d'urgences. Ainsi, générer une solution

de qualité est une tâche difficile, étant donné que les objectifs (c'est-à-dire l'ensemble des activités doit être ordonnancé dès que possible, les temps d'attente du patient doivent être réduits au minimum, l'appareil d'utilisation est optimisée) pourraient être réalisés et un grand nombre de contraintes (c'est-à-dire les ressources ne peuvent être utilisés que par un seul patient à la fois, les traitements doivent être effectués dans un ordre de temps exact) doivent être prises en compte.

Notre problématique d'ordonnancement au SU est différente de celles qu'on trouve dans la littérature [Pablo, 09], il n'existe donc pas d'algorithme déjà établi pour la résoudre. En effet, le personnel médical du SU sont à compétences multiples et peuvent intervenir simultanément pour traiter un patient (par exemple une infirmier(e) qui fait une injection et un médecin qui prend la tension). Contrairement à un ordonnancement classique là où une ressource (par exemple une machine) ne peut subir qu'un seul traitement à la fois bien que les machines peuvent être polyvalentes. Ainsi, pour résoudre cette problématique, nous proposons un algorithme d'Ordonnancement Réactif à 3 phases, baptisé OR-3P [Daknou et al., 09]. Cet algorithme est au cœur de l'agent AO. Il permet d'établir l'ordonnancement et l'affectation des opérations de soins à des équipes médicales à compétences multiples. Cette méthode de résolution est réactive dans la mesure où au sein du SU on se trouve souvent en face de perturbation à laquelle notre système d'aide à la décision doit s'adapter en temps réel. Nous présentons donc dans ce qui suit les différentes perturbations rencontrées au SU avant de donner les spécifications de la méthode de résolution proposée.

III.6.1 Les perturbations au SU

L'un des défis posés à la programmation opératoire en situation d'exception est l'aptitude à faire face aux perturbations. Dans le domaine de la santé, [Hammami, 04] distingue deux types de perturbations : les incertitudes et les aléas. Les incertitudes sont les imprécisions qui affectent les mesures physiques et les erreurs qui découlent de la différence entre l'estimation prévisionnelle d'une grandeur et sa valeur effective. Les aléas sont les évènements de type discret qui entraînent des modifications dans le modèle.

III.6.1.1 Les incertitudes

Les durées des opérations de soin ne sont pas connues au préalable. En effet, l'ordonnancement prédictif est basé sur une estimation des experts en se basant sur les

protocoles médicaux. Dans notre cas, l'estimation des durées opératoires se fait au niveau de l'agent AId catégorisant les patients selon leur degré d'urgence. Pour le même type d'intervention médicale, la durée nécessaire pour réaliser un acte de soin est variable en fonction de l'état du patient, de l'expérience et de la compétence de l'équipe médicale et, des complications pouvant survenir lors de l'intervention [Hammami, 04].

III.6.1.2 Les aléas

En situation normale, les urgences constituent le type de perturbation qui entraîne le plus de changement sur le programme opératoire établi [Lafon et al., 01]. Face à une telle situation, des patients non attendus peuvent arriver au SU à n'importe quel instant pour des interventions urgentes. Par ailleurs, des patients peuvent voir leur état se dégrader ou s'améliorer, réduisant ou allongeant ainsi leur délai limite d'intervention prévue. Ces évènements imprévisibles ont ainsi tendance à perturber très fortement les programmes préétablis.

Face à cette complexité, la performance d'un système au SU se trouve fortement tributaire de son aptitude à adapter rapidement les décisions déjà prises afin de prendre en compte les incertitudes et les aléas. Dans ce contexte, nous traitons le problème d'ordonnancement des opérations de soin au SU en mode réactif tout en tenant compte des différentes perturbations qui peuvent survenir au cours du temps.

III.6.2 Modélisation du problème

III.6.2.1 Notations

N : nombre de patients à traiter à l'instant t

j : indice du patient, $j \in \{1,..., N\}$

n_j : nombre d'opérations de soin pour traiter le patient j

i : indice d'une opération de soin, $i \in \{1,..., n_j\}$

$O_{i,j}$: i^{ème} opération de soin du patient j

M : nombre du personnel médical présents au SU à l'instant t

m : indice du personnel médical du SU, $m \in \{1,..., M\}$

K: cardinalité de l'ensemble des compétences maîtrisées dans la médecine d'urgence

k : indice d'une compétence médicale, $k \in \{1,..., K\}$

Θ_k : degré de connaissance pour une compétence C_k, $\Theta_k \in [0 ; 1]$

rp_j : date d'arrivée du patient j au SU

$t_{i,j}$: date de début d'exécution de l'opération $O_{i,j}$

$tf_{i,j}$: date de fin d'exécution de l'opération de soin $O_{i,j}$

$d_{i,j,k}$: durée de l'opération de soin $O_{i,j}$ qui requiert la compétence k et prédéfinie à partir des protocoles médicaux.

$dl_{i,j}$: délai limite d'intervention sur l'opération de soin $O_{i,j}$

$pr_{i,j}$: un entier qui présente un ordre priorité d'une opération de soin $O_{i,j}$

Si l'on identifie C_k (tableau III-4), $k \in \{1,..., K\}$, chaque compétence maîtrisée par chaque acteur P_m, $m \in \{1,..., M\}$, de l'équipe médicale du SU, la prise en compte de la polyvalence de ces acteurs peut se traduire, pour chacun d'eux, par l'existence d'un degré de connaissance θ_k appartenant à $[0 ; 1]$ pour toute personne P_m et pour chaque compétence requise.

IdCompétence	Description
C_1	Injection
C_2	Intubation
C_3	Mise en place chirurgicale

Tableau III-4 Exemple des compétences médicales

Un degré égale à 1 identifie pour un acteur sa compétence première ou principale ; un degré de connaissance non nul, des interventions sur lesquels il peut intervenir en appui d'acteurs plus qualifiés ou bien en les remplaçant. L'exemple du tableau 4 exprime le fait que l'acteur médical P_1 maîtrise les compétences C_1, C_2 et C_3 avec des degrés respectifs égaux à 1 ; $0,9$ et $0,7$. Donc C_1 est sa compétence primaire ou en d'autre terme sa spécialité. C_2 et C_3 sont des compétences acquises aussi pour P_1.

Compétences	Personnel			
	P_1	P_2	P_3	P_4
C_1	1	0,4	0.4	0
C_2	0,9	1	1	0,6
C_3	0,7	1	1	1

Tableau III-5 Exemple de table des degrés d'expérience du personnel

Un patient *j* peut être pris en charge au plus tard à la date limite d'intervention $dl_{i,j}$. L'ordre des opérations de soin pour le plan de traitement du patient est fixé dès le départ grâce aux protocoles médicaux (contrainte de précédence). Un personnel P_m ne peut traiter qu'une opération à la fois (contrainte de ressources humaines).

Compétences	Opérations (délai limite d'intervention)						
	$O_{1,1}(12)$	$O_{2,1}(14)$	$O_{1,2}(5)$	$O_{2,2}(7)$	$O_{3,2}(9)$	$O_{1,3}(10)$	$O_{2,3}(11)$
C_1	2	0	2	2	0	2	0
C_2	2	2	2	2	1	2	2
C_3	0	2	0	2	1	0	2

Tableau III-6 Exemple de table d'identification des opérations de soin nécessitant des compétences multiples

L'exemple d'identification des opérations de soin donné dans le tableau III-6 exprime que l'opération 1 du patient 1 ($O_{1,1}$) de délai limite d'intervention $dl_{i,j}=12$ nécessite pour le traitement 2 unités de temps par les compétences C_1 et C_2 donc l'équipe médicale est formée de deux personnes maîtrisant ces 2 compétences par exemple un médecin et une infirmière.

III.6.2.2 Les variables de décision

L'objectif de ce travail est de pouvoir affecter les AMPs sur les différentes opérations

de soin nécessaires pour dans un premier temps stabiliser l'urgence puis la traiter. On vise alors à minimiser les durées d'attente des patients ainsi que les coûts de leur prise en charge. En plus, ce travail permet de ressortir le plan de travail par acteur médical et l'ordonnancement définitif des opérations (durée, date de début et de fin de traitement). De ce fait, pour répondre à ces interrogations, nous avons cinq types de variables de décision :

- La variable binaire d'affectation $X_{m,k,i,j}$ *(m=1...M; k=1...K; i=1...n_j et j=1...N)*: cette variable permet d'affecter à un instant *t* un personnel médical (*m*) avec sa compétence (*k*) sur une opération de soin (*i*) du patient (*j*). $X_{m,k,i,j} = 1$ si l'opération médicale $O_{i,j}$ sera traitée par un personnel P_m maitrisant la compétence C_k avec un degré minimal égal à θ_k prédéfini par un expert, sinon $X_{m,k,i,j} = 0$. Nous supposons que lorsqu'une personne P_m de compétence C_k est affectée à une opération $O_{i,j}$, il reste pendant la durée que requière l'intervention $d_{i,j,k}$.

- La variable d'affectation des compétences $C_{m,k}$: cette variable est égale à θ_k si la personne P_m maîtrise C_k avec un degré de connaissance supérieur ou égal à θ_k, $\theta_k \in [0\ ;1]$.

- La date de début d'exécution d'une opération de soin $O_{i,j}$ est $t_{i,j}$ en respectant les contraintes d'antériorités entre les opérations d'un traitement médical que nous définirons plus bas.

- Les dates de disponibilité du personnel médical du SU sont représentées par le vecteur *Dispo_Perso[m]*. Ce vecteur permet de donner la date à laquelle chaque personne P_m sera disponible pour effectuer une opération de soin $O_{i,j}$ qui est en adéquation avec sa compétence.

III.6.2.3 La fonction objectif

On vise à minimiser le temps de passage global des patients au service d'urgences :

$$Min\ (\sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{n_j} Max(0, Ar_{i,j} - Ath_{i,j})) \qquad (1)$$

$Ar_{i,j}$: attente réelle de l'opération de soin $O_{i,j}$ déterminée au sein du service d'urgences.

$Ath_{i,j}$: attente théorique de l'opération de soin $O_{i,j}$ déterminée par un expert grâce aux protocoles médicaux déjà établis.

L'objectif est de minimiser le temps de passage global (TPG) que passe le patient dans le SU qui consiste au délai s'écoulant entre son inscription à l'accueil et sa sortie du service. Il résulte de la somme du délai d'attente et du délai de prise en charge médicale.

- Délai d'attente : délai entre l'inscription du patient et sa prise en charge médicale par le médecin.
- Délais de prise en charge médicale : c'est le délai s'écoulant entre la prise en charge du patient par le médecin et sa sortie du service. Il peut comprendre d'autres délais tels que: les délais s'écoulant depuis l'appel d'un médecin pour avis spécialisé et son arrivée au SU, les délais entre la demande de l'examen biologique et l'obtention du résultat et les délais entre la demande de l'examen et le retour du patient en salle d'examen.

Ainsi, l'objectif de notre modèle de résolution est de réduire le délai de prise en charge entre chaque étape du processus de prise en charge au SU tel que le temps d'attente entre l'arrivée du patient et la première consultation médicale, l'attente des résultats des examens biologiques ou radiologiques etc. Ainsi, toute opération de soin en retard pourra être identifiée. Le plan de traitement d'un patient peut être prescrit dans l'ordre comme indiqué ci-dessous :

$$t_{0,j} + d_{0,j,k} < t_{1,j} + d_{1,j,k} < t_{2,j} + d_{2,j,k} < \ldots < t_{nj,j} + d_{nj,j,k}$$

Il est impossible de réduire la durée de chaque étape puisque le niveau de qualité doit être maintenu. Chaque étape a une durée définie (relativement standard) et mobilise des ressources matérielles et humaines connues et par conséquence, chaque patient doit être traité selon un niveau de qualité connu (protocoles médicaux).

La résolution d'un tel problème nécessite donc l'affectation de chaque opération de soin $O_{i,j}$ du plan de traitement du patient j au personnel ayant la compétence adéquate C_k requise avec un degré de connaissance minimale θ_k . Ensuite, il faut calculer sa date de début $t_{i,j}$ ainsi que sa date de fin $tf_{i,j}$ dans le but d'analyser les délais d'attente et le temps de passage global.

III.6.2.4 Les contraintes du problème

Les contraintes du problème sont de deux types : des contraintes temporelles et d'antériorité et des contraintes de compétences et de disponibilité

1. ***Les contraintes temporelles et d'antériorité :*** ces contraintes décrivent les liens d'antériorités pouvant exister entre les différentes opérations de soin. Le respect de ces contraintes est important dans le déroulement normal de l'activité médicale.

- La contrainte (1) vérifie la précédence entre les opérations.

$$t_{i,j} - t_{i\prime,j} < 0 \ \forall i, i' \in \{1..n_j\} \ et \ i < i' \ \forall j \in \{1..N\} \quad (1)$$

- La contrainte (2) vérifie que pour chaque patient, la date de début de prise en charge $t_{i,j}$ ne dépasse pas la date limite d'intervention $dl_{i,j}$.

$$t_{i,j} - dl_{i,j} \leq 0 \ \forall i \in \{1..n_j\} \ \forall j \in \{1..N\} \quad (2)$$

- La contrainte (3) assure que la durée de l'opération de soin à insérer $O_{i',j'}$ est inférieure ou égale à la durée de l'intervalle d'accueil.

$$t_{i1,j1} - (t_{i,j} + d_{i,j,k}) \geq d_{i',j',k} \quad avec \ t_{i,j} < t_{i',j'} < t_{i1,j1}$$

$$\forall i \in \{1..n_j\}, \ \forall i1 \in \{1..n_{j1}\}, \ \forall i' \in \{1..n_{j'}\} \ \forall j, j_1, j' \in \{1..N\} \ \forall m \in \{1..M\} \ \forall k \in \{1..K\} \quad (3)$$

2. ***Les contraintes de compétences et de disponibilité :*** ces contraintes vérifient la disponibilité d'un personnel médical du SU à être affecté à une opération.

- La contrainte de compétence qui doit assurer l'adéquation entre les compétences acquises par les ressources et celles requises par les opérations de soin où elles sont utilisées. On distingue les contraintes binaires où un acteur possède ou non une compétence donnée, de celles avec seuillage où un niveau minimal d'aptitude est requis pour être sollicité à une tâche. La contrainte (4) de compétence va permettre les affectations des compétences dont leurs degrés de connaissance sont supérieurs ou égales à un degré minimale définie par un expert du domaine.

$$X_{m,k,i,j} = 1 \ si \ C_{m,k} \geq \theta_k \ \forall \theta_k \in [0;1] \quad (4)$$

$$\forall i \in \{1..n_j\} \ \forall j \in \{1..N\} \ \forall m \in \{1..M\} \ \forall k \in \{1..K\}$$

- La contrainte quantitative (5) assure que chaque personnel médical *m* du SU traite un seul patient à l'instant *t*.

$$\sum_{j}^{N} \sum_{i}^{n_j} X_{m,k,i,j} \leq 1 \quad (5)$$

$$\forall\, i \in \{1..n_j\}\ \forall\, j \in \{1..N\}\, \forall\, m \in \{1..M\}\ \forall\, k \in \{1..K\}$$

- Les contraintes (6) et (7) sont des contraintes d'intégrité.

$$X_{m,k,i,j} \in \{0,1\}\ \forall\, i \in \{1..n_j\}\ \forall\, j \in \{1..N\}\, \forall\, m \in \{1..M\}\ \forall\, k \in \{1..K\} \quad (6)$$

$$C_{m,k} \in \{0,1\}\ \forall\, m \in \{1..M\}\ \forall\, k \in \{1..K\} \quad (7)$$

III.6.3 Méthode de résolution réactive à trois Phases

L'agent AO assure l'exécution temps réel de l'algorithme d'Ordonnancement Réactif à trois Phases (OR-3P) qui assure l'ordonnancement des opérations de soins à compétences multiples et qui calcule les dates de début d'exécution $t_{i,j}$ en tenant compte des disponibilités du personnel médical du SU et des contraintes de précédences de ces opérations. La règle de priorité de la prise en charge des patients sera la gravité du cas. En fonction du degré d'urgence estimé à l'aide du délai limite d'intervention $dl_{i,j}$, un ordre de priorité dynamique de passage $pr_{i,j}$ est attribué à chaque patient par l'agent AId tout en respectant les contraintes de précédence.

III.6.3.1 Description

Le problème de l'ordonnancement des ressources humaines (personnel médical du SU) dans les services d'urgence est d'une grande importance dans un contexte de raréfaction des ressources, de croissance de la demande de soins, de plus en plus variée et exigeante, et d'incitation au contrôle des dépenses de santé ainsi qu'à l'amélioration de l'efficacité et de la productivité du service d'urgences. Ainsi, ces services montrent de plus en plus la nécessité de disposer d'outils d'aide à l'affectation et à l'ordonnancement de ses ressources.

Le fonctionnement d'un service d'urgences est déterminé en temps réel selon le flux des patients qui arrivent à l'instant *t*. Cependant un ordonnancement établi à l'instant $t=t_0$ qui précise l'ordre de prise en charge des patients arrivants n'est pas souvent respecté à cause des

différents types d'aléas qui peuvent survenir. Parmi ces aléas, nous pouvons citer l'incertitude dans la prévision des temps de prise en charge et des soins, l'occurrence de co-morbidités, les complications imprévues, l'arrivée de cas urgents qui présentent une priorité médicale et l'évolution du degré d'urgence d'un patient au SU. L'objectif donc de la méthode d'ordonnancement proposée est de réduire le temps d'attente des patients présents au SU et d'être en mesure de réagir à temps pour absorber ces aléas. Nous souhaitons alors minimiser ce temps et plus généralement le temps de séjour et de traitement d'un patient au sein du SU puisque ce critère de performance a une influence sur les coûts et la qualité.

Pour ce qui est des ressources, on s'est centré sur le personnel médical nécessaire à la réalisation des opérations de prise en charge, et sur les temps nécessaires à celles-ci. On pourrait compléter favorablement l'approche de résolution en intégrant les ressources matérielles (boxes d'examen, matériel d'imagerie...), qui constituent elles aussi de potentiels goulets d'étranglement et conditionnent donc aussi la capacité du service en terme de gestion de flux. Toutefois, ces dernières étant plus fixes que les ressources en personnel, qui peuvent être réallouées de façon relativement souple, l'approche n'a pas intégré l'étude des ressources matérielles.

La méthode de résolution est définie en 3 phases [Daknou et al., 08d] (figure III-18):

Phase1 : Ordonnancement

La première phase consiste à effectuer un premier ordonnancement des opérations de soin des patients présents au service d'urgences à l'instant $t=t_0$ selon une règle de priorité dynamique basée sur les algorithmes de listes. Plus précisément, à l'instant t, parmi les opérations de soin disponibles, l'opération de plus grande priorité est affectée. Plus généralement, les algorithmes de listes procèdent d'abord à l'élaboration d'une liste de priorités qui est utilisée ensuite pour la construction d'une solution. Dans notre problème la règle de priorité est dynamique et elle est estimée à l'aide du délai limite d'intervention $dl_{i,j}$ avant lequel les opérations de soin doivent être affectées aux agents disponibles du personnel médical du SU. Cette affectation consiste à trouver la ou les personnes la ou les plus appropriées pour accomplir chaque opération de soin. Enfin, chaque agent choisit doit prendre connaissance de la ou les tâches qu'il va exécuter.

Phase2 : Insertion selon priorité

La deuxième phase consiste à étudier s'il est possible d'introduire directement les opérations de soin des nouveaux patients qui arrivent à l'instant *t+dt* afin de minimiser l'effet d'une perturbation sur l'ordonnancement établi à l'instant *t*. Cette possibilité est déterminée en considérant d'une part l'heure limite avant laquelle l'intervention du nouveau patient doit commencer, d'autre part les temps résiduels de disponibilité des ressources selon qu'elles sont en phase d'utilisation. Au départ, nous examinons pour chaque nouvelle opération de soin si elle peut être insérée dans une plage inexploitée appelée *intervalle d'accueil* tout en maintenant le séquencement de l'ordonnancement déjà établi. Si elle ne peut être insérée, on calcule pour chaque personnel médical du SU, ayant les compétences nécessaires pour exécuter cette tâche de soin, une marge libre Δg_m où il peut être disponible et la somme des marges libres $\Delta i,j$ des opérations affectées à une même personne afin de forcer l'insertion. Le programme cherche à affecter le nouveau patient à tout acteur médical qui possède la plus grande marge Δg_m. Sous la contrainte que les interventions qui sont en cours d'exécution ne seront pas interrompues, le patient est inséré à la date au plus tard en vérifiant les contraintes de la date d'arrivée, et de la date limite d'intervention. Lorsque l'opération de soin est affectée à une personne, nous appliquons la méthode de décalage à droite (shift right) pour décaler toutes les opérations après celle insérée avec une durée égale à sa durée opératoire. La solution d'insertion de l'opération de soin est complètement donnée à la fin de cette deuxième phase.

$$\Delta g_m = \sum_{j\in m}^{N} \sum_{i\in m}^{n_j} \Delta_{i,j} \quad \forall\, i \in \{1..n_j\}\ \forall\, j \in \{1..N\} \qquad \text{(I)}$$

Avec :

$$\Delta_{i,j} = tf_tard_{i,j} - tf_t\hat{o}t_{i,j} \quad \forall\, i \in \{1..n_j\}\ \forall\, j \in \{1..N\} \qquad \text{(II)}$$

La date de fin au plus tard est donnée par l'équation (III).

$$tf_tard_{i,j} = \min(dl_{i,j} + d_{i,j},\ t_{i',j'})$$

$$\forall\, i, i' \in \{1..n_j\}\ \forall\, j, j' \in \{1..N\}\ avec\ t_{i,j} < t_{i',j'} \qquad \text{(III)}$$

La date de fin au plus tôt est donnée par l'équation (IV).

$$tf_t\hat{o}t_{i,j} = \min(tf_{i",j"} + d_{i,j})$$

$$\forall i, i" \in \{1..n_j\} \ \forall j, j" \in \{1..N\} \ avec \ t_{i",j"} < t_{i,j} \qquad \text{(IV)}$$

La figure III-17 est un exemple de 4 opérations de soin qui sont affectées dans l'ordre de leur gravité à l'instant $t=t_0$ à un membre m du personnel.

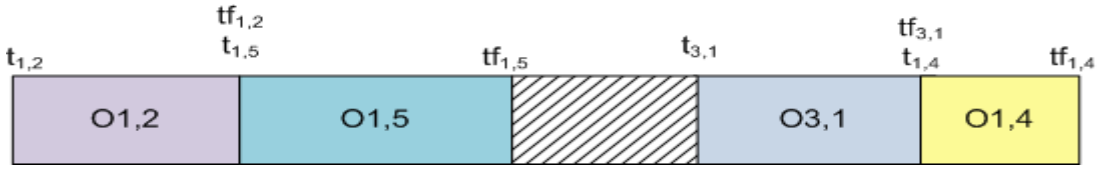

Figure III-17 Ordonnancement à l'instant $t=t_0$

Toutefois si l'insertion de l'urgence induit un dépassement des délais des opérations de soin déjà ordonnancées alors l'urgence ne peut être insérée que s'il reste possible de réaliser les interventions qui ne peuvent être retardées. Il s'agit d'appliquer une méthode de réordonnancement de la 3ème phase de la méthode de résolution. La solution finale d'insertion de l'urgence est donnée au bout de la 3ème phase. Dans tous les cas où il est possible d'accepter l'urgence, à la fin de la 2ème phase sera déterminée la date début de l'intervention à insérer.

Au SU, les patients en attente ou en cours de traitement peuvent voir leur état se dégrader ou encore s'améliorer, réduisant ou rallongeant leur date limite d'intervention et ou la durée d'une opération de soin. Dans le cas où l'état d'un patient se dégrade, le problème se ramène à un problème d'insertion d'un nouveau patient. En effet, il s'agit de mettre à jour dynamiquement l'ordonnancement établi pour ce patient. Il faut donc le supprimer de l'ancien ordonnancement et de l'insérer à nouveau en fonction de ses nouveaux paramètres (date limite et durée d'intervention). Ainsi, nous appliquons l'approche de résolution de la 2ème phase de l'OR-3P (l'arrivée d'un nouveau patient au SU). Si l'algorithme n'arrive pas à insérer le patient dont l'état s'est dégradé, le système peut décider de l'insérer à la place d'un patient dont l'état est moins critique capable de supporter une attente nous appliquons alors la 3ème phase de l'approche de résolution adoptée OR-3P.

Si un patient voit son état s'améliorer cela n'entraîne aucune contrainte supplémentaire. Dans ce cas, l'ordonnancement n'est pas modifié. Ce dernier cas libère des ressources qui devaient être affectées ou augmente les degrés de liberté de l'ordonnancement qui devient de ce fait plus apte à absorber des nouvelles perturbations.

Phase3 : Réordonnancement

La troisième phase a pour objectif de chercher un réordonnancement des opérations de soin des nouveaux patients, à partir de la date de leur arrivée, et qui sont moins prioritaires que celles qui sont en cours d'exécution. De plus, notre méthode doit réordonnancer sous contrainte que les opérations en cours d'exécution ne seront pas interrompues. Ainsi nous aurons comme résultat le séquencement des interventions nécessaires pour tous les patients présents au SU. Par ailleurs, dans le cas où un patient en urgence vitale se présente au SU, le système autorise d'interrompre un personnel maîtrisant les compétences nécessaires non disponibles et qui peut quitter le patient au cours de traitement tant qu'il supporte encore d'attendre sans conséquence.

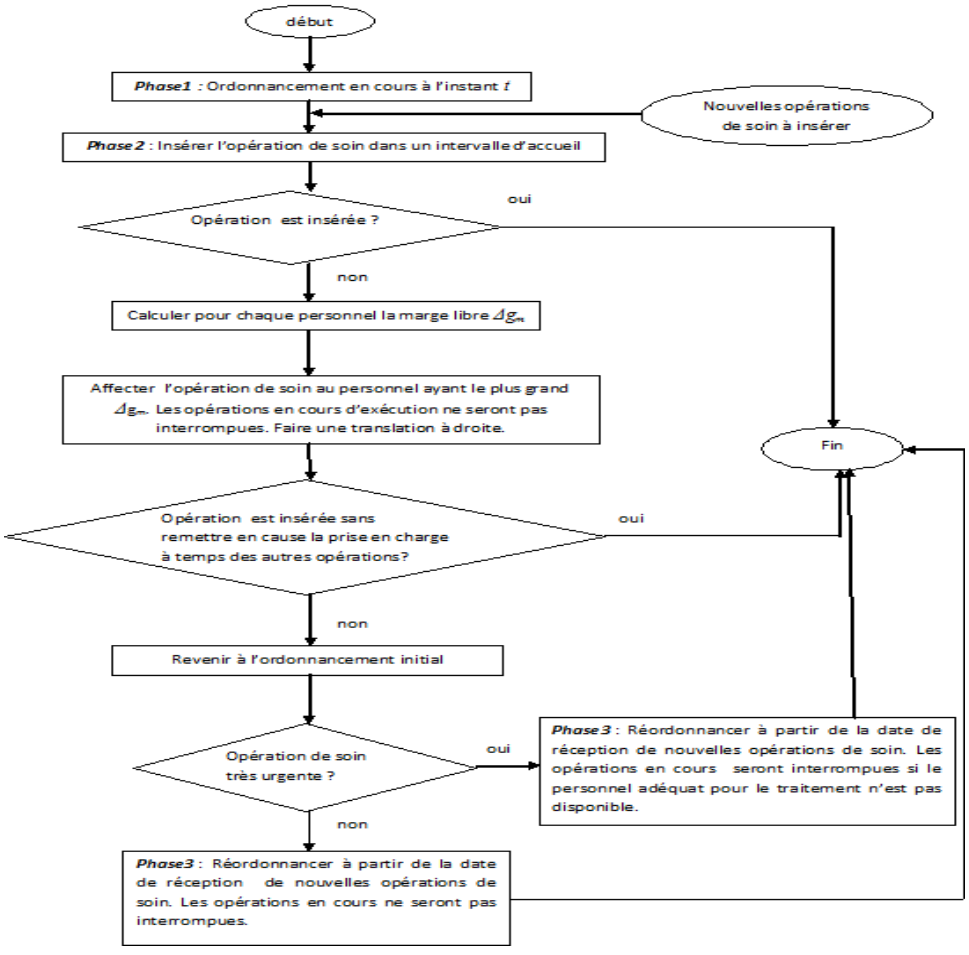

Figure III-18 Méthode de résolution réactive adoptée par l'AO

Nous présentons dans la figure III-18 la méthode de résolution réactive adoptée par l'agent AO.

Dans notre étude, une opération de soin représente tous les actes médicaux qui peuvent se faire au même temps comme par exemple le cas où il peut avoir en parallèle un médecin qui réalise un diagnostic et une infirmière qui est en train de faire un prélèvement sanguin sur le même patient. De ce fait, l'opération de soin peut être exécutée en mobilisant toutes les personnes de l'équipe médicale au même temps et avec la même durée ou bien avec des durées d'exécution différentes selon les compétences requises pour sa réalisation. Une opération peut être également interrompue et accomplie par la suite en cas d'urgence. De la sorte, deux actes médicaux sont dissociés en deux opérations de soin que lorsqu'il y ait un ordre chronologique entre eux (contrainte de précédence) sinon ces deux actes seront représentés par une seule macro-opération avec plusieurs compétences indispensables au même temps. La présentation graphique des différentes situations d'ordonnancement de l'équipe médicale devient difficile particulièrement quand le nombre de tâches de soin est élevé. Toutefois, nous avons essayé dans la figure III-19 de schématiser un exemple d'ordonnancement pour trois membres d'une équipe médicale avec les différentes caractéristiques des opérations de soin.

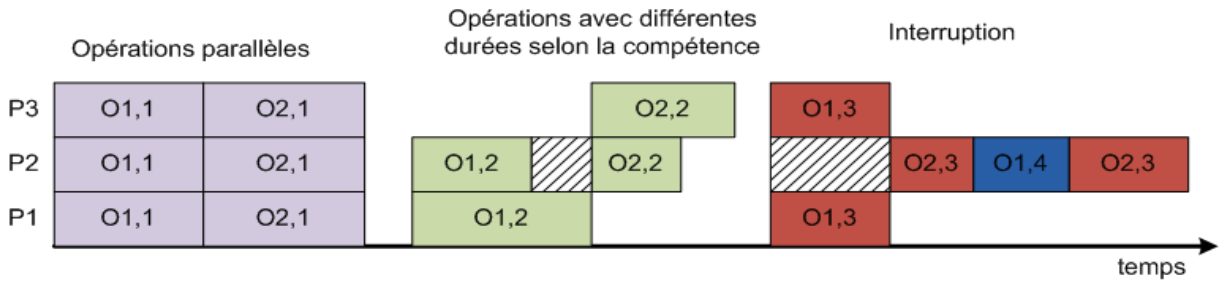

Figure III-19 Exemple des différentes situations possibles pour les équipes médicales

Afin de mieux expliquer notre approche de résolution, nous proposons l'exemple illustratif suivant :

Soit un ordonnancement initial (figure III-20) composé de 10 opérations de soin affectées à deux personnels médicaux P_1 et P_2 aptes à les exécuter. On note par IA_y, l'intervalle d'accueil d'indice y.

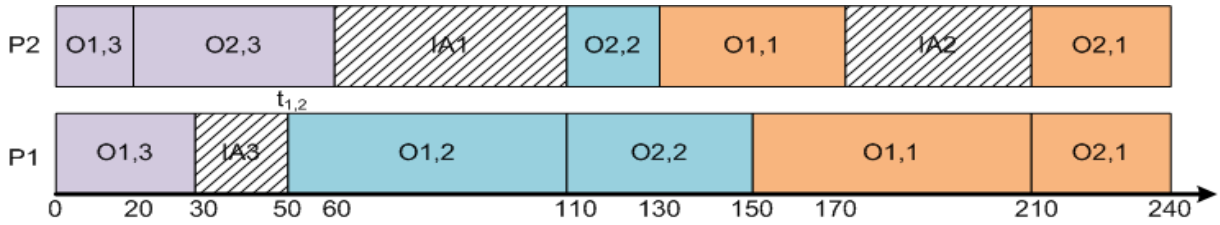

Figure III-20 Ordonnancement initial

($O_{1,\ 4}$) est la nouvelle opération à insérer dans l'ordonnancement courant. Nous supposons que cette opération peut être affectée aux deux personnels P_1 et P_2 les plus appropriés pour sa réalisation.

La phase 2 de l'algorithme de résolution cherche à insérer cette nouvelle opération dans un intervalle d'accueil de taille suffisante et qui doit satisfaire au même temps les deux contraintes relatives à : la date limite d'intervention ($dl_{1,4}$) et la date d'arrivée du patient 4 au SU (rp_4). En calculant la taille des intervalles d'accueil, on cherche à insérer $O_{1,\ 4}$ dans l'un de ces intervalles (figure III-21). Soit :

$d_{1,4} \leq t_{2,2} - (t_{2,3}+d_{2,3})$ ⇨ insertion de $O_{1,\ 4}$ dans l'intervalle d'accueil IA_1.

$d_{1,4} \geq t_{1,2} - (t_{1,1}+d_{1,1})$ ⇨ l'opération $O_{1,\ 4}$ ne peut pas être insérée dans l'intervalle IA_2.

$d_{1,4} \geq t_{1,2} - (t_{1,3}+d_{2,3})$ ⇨ l'opération $O_{1,\ 4}$ ne peut pas être insérée dans l'intervalle IA_3.

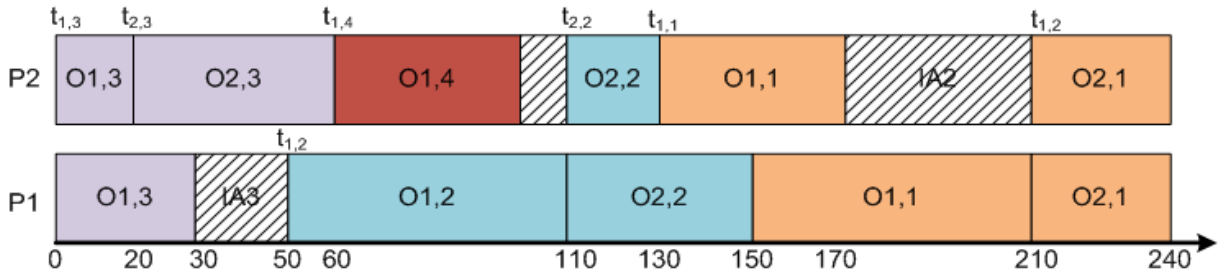

Figure III-21 Ordonnancement obtenu suite à l'insertion dans l'intervalle d'accueil

Si la nouvelle opération a pu être insérée en utilisant les intervalles d'accueil alors l'algorithme se termine, sinon l'insertion est forcée. Pour cela, on calcule pour chaque personnel sa marge libre Δg_m où il peut être disponible. L'opération sera alors affectée à la personne ayant le plus grand Δg_m. Les opérations déjà commencées ne seront de ce fait pas interrompues. Une fois la nouvelle opération insérée, toutes les opérations suivantes sont

décalées à droite d'une durée égale à la durée de la nouvelle opération insérée.

En reprenant l'exemple précédent dans le cas où $d_{1,4} \geq t_{2,2} - (t_{2,3}+d_{2,3})$, $d_{1,4} \geq t_{1,2} - (t_{1,1}+d_{1,1})$ et $d_{1,4} \geq t_{1,2} - (t_{1,3}+d_{2,3})$, nous calculons la marge libre de chaque personnel médical. Nous supposons après calcul, que $\Delta g_1 \geq \Delta g_2$. Ainsi, P_1 possède la plus grande marge libre.

Soit $t_{1,1} \leq dl_{1,4}$, $t_{1,1} \geq rp_4$ et $t_{1,1}+d_{1,1} \geq dl_{1,4} \Rightarrow$ insertion de $O_{1,4}$ à la date $t_{1,1}$ et décalage à droite des opérations $O_{1,1}$ et $O_{2,1}$ (figure III-22).

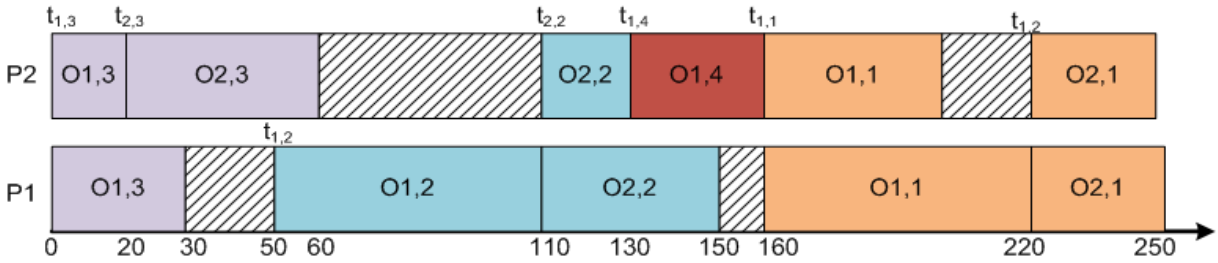

Figure III-22 Ordonnancement obtenu suite à la phase d'insertion

Si la nouvelle opération $O_{1,4}$ est insérée sans exclure d'autres opérations de soin alors l'ordonnancement est terminé. Sinon on revient à l'ordonnancement initial et on passe à la phase 3 qui consiste à réordonnancer toutes les opérations de soin qui reste à réaliser à partir de la date d'arrivée des nouvelles opérations de soin à introduire dans l'ordonnancement. La priorité de l'opération n'est pas très élevée donc les opérations en cours d'exécution ne seront pas interrompues. L'opération est prise en compte dans l'ordonnancement (figure III-23) alors fin de l'algorithme.

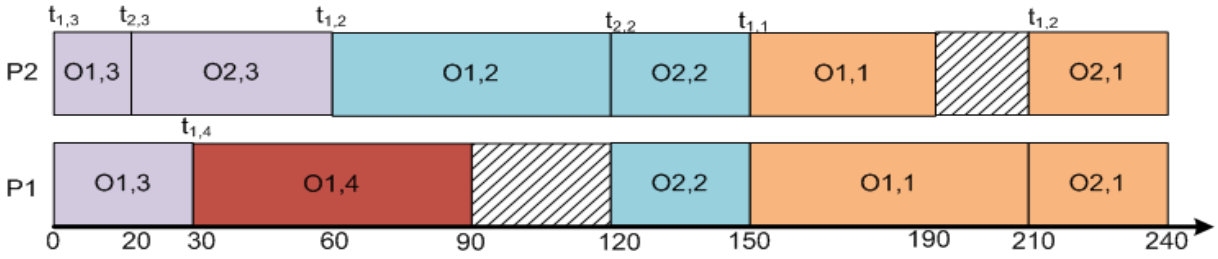

Figure III-23 Résultat obtenu suite au réordonnancement non préemptif

Si la priorité de $O_{1,4}$ est très élevée donc les opérations en cours d'exécution peuvent être interrompues. Ainsi l'opération $O_{2,3}$ peut être interrompue sans conséquence grave sur la patient 3. L'opération $O_{1,4}$ est prise en compte dans l'ordonnancement (figure III-24) alors fin

de l'algorithme.

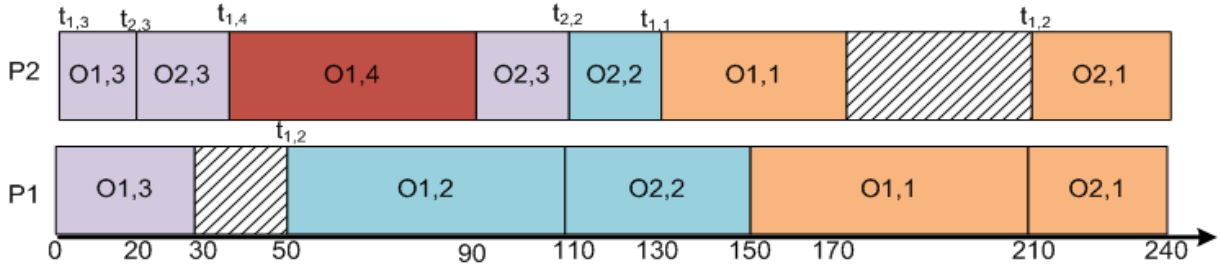

Figure III-24 Résultat obtenu suite au réordonnancement préemptif

III.6.3.2 Algorithme d'Ordonnancement Réactif à 3 Phases (OR-3P)

A chaque fois où on va appliquer une des 3 phases de l'algorithme OR-3P, nous devons d'abord commencer par construire l'ensemble des opérations à ordonnancer. Par la suite, nous devons identifier, parmi le personnel médical du SU présent au SU, les personnes disponibles qui maîtrisent les compétences nécessaires à l'accomplissement de chaque opération de soin.

Construire l'ensemble des opérations à ordonnancer φ

```
Pour (j=1; j≤N ; j++)
  Pour (i=1; i ≤ n_j ; i++)
    Pour (k=1 ; k ≤ K ; k++)
      //Construire l'ensemble des opérations à ordonnancer φ
            à partir tableau initial des durées ; φ= {O_i,j tel que d_i,j,k > 0}
      Si (d_i,j,k > 0 et O_i,j ∉ φ) alors  φ ∪ {O_i,j };
      Fin si
    Fin pour
  Fin pour
Fin pour
```

Construire l'ensemble des personnes maîtrisant la compétence C_k

Initialiser le vecteur de disponibilités des compétences *Dispo_Perso[m]=0*, pour tout $m \leq M$;

Initialiser b_k = {des personnes maîtrisant la compétence C_k requise pour une opération de soin avec un degré $\geq \theta_k$ } $\forall \theta_k \in [0;1] \; \forall k \in \{1..K\}$ sachant qu'une personne peut appartenir à plusieurs ensembles b_k puisque celle-ci peut acquérir plusieurs domaines de compétences.

```
Pour (k=1 ; k ≤ K ; k++)
    Pour (m=1 ; m≤ M ; m++)
        Si (C_{m,k} ≥ θ_k) alors b_k ∪ {Pm};
        Finsi
    Fin pour
Fin pour
```

OR-3P Phase1: Ordonnancement

ECM (i,j): Equipe médical à Compétences Multiples affectée à l'opération $O_{i,j}$

Classer les opérations de φ selon l'ordre croissant des priorités $pr_{i,j}$.

```
Pour tout O_{i,j} de φ
    Pour (k=1 ; k ≤ K ; k++)
        Si (d_{i,j,k} > 0) alors
            Pour tout P_m de b_k
                Si Min (Dispo-Perso[m]) alors
                    ECM (i,j) ∪ { P_m }
                Finsi
            Fin pour
        Finsi
    Fin pour
    Calculer les dates de début d'exécution selon la formule :
    t_{i,j} = Max(Dispo_Comp[m] tel que d_{i,j,k} >0 et P_m ∈ ECM(i,j)) ;
    Mettre à jour le vecteur des disponibilités des compétences
    Dispo_Comp[k]= t_{i,j} + d_{i,j,k}
Fin pour
```

OR-3P Phase2: Insertion

P_m : personnel qui possède la plus grande marge libre Δg_m.

$O_{i',j'}$: opération de soin à insérer.

φ_m : l'ensemble des opérations qui n'ont pas encore été traité par P_m.

I_m : card (φ_m)

s : indice d'une opération $O_{i,j}$ dans φ_m

p : entier vide

Insertion de l'opération $O_{i',j'}$

Pour (s=1; s< I_m; s++)
  Pour (*k=1; k ≤ K; k++*)
    Si $t_s <= dl_{i',j'}$ et $t_s > rp_{j'}$ et $(t_s + d_{s,k}) > dl_{i',j'}$ Alors
      Insérer l'opération $O_{i',j'}$ à la date t_s ($t_s = t_{i',j'}$)
      $p=s$
      //Mettre à jour le vecteur des disponibilités des compétences
      $Dispo_Comp[k] = t_{i',j'} + d_{i',j',k}$
    FinSi
  FinPour
Fin Pour

Décaler à droite à partir de l'opération $O_{i',j'}$ toute les opérations affectées à P_m avec une durée égale à $d_{i',j',k}$

Pour (s=1; s< I_m; s++)
  Pour (*k=1; k ≤ K; k++*)
    $t_s = t_s + d_{i',j',k}$
    Si $t_s > dl_s$ Alors
      Retourner à l'ordonnancement initial et aller à la phase 3
    FinSi
  Fin Pour
Fin Pour

OR-3P Phase3 : Réordonnancement

Dispo-Perso[m] est le vecteur de disponibilité du personnel calculé à l'instant d'arrivée de nouveau patient.

φ_{att} : ensemble des opérations de soin en attente y compris celles de nouveau patient.

Classer les opérations de φ_{att} selon l'ordre croissant des priorités $pr_{i,j}$.

Pour tout $O_{i,j}$ de φ_{att}

Pour ($k=1$; $k \leq K$; k++)

Si ($d_{i,j,k} > 0$) alors

Pour tout P_m de b_k

Si *Min (Dispo-Perso[m])* alors

ECM (i,j) ∪ { P_m }

Finsi

Fin pour

Finsi

Fin pour

Calculer les dates de début d'exécution selon la formule :

$t_{i,j}$ = *Max(Dispo_Comp[m]* tel que $d_{i,j,k} > 0$ et $P_m \in ECM(i,j)$) ;

Mettre à jour le vecteur des disponibilités des compétences

Dispo_Comp[k] = $t_{i,j} + d_{i,j,k}$

Fin pour

Notre problème est qualifié de polynomial puisque l'algorithme de résolution est de complexité O (n^3).

III.6.3.3 Sous-estimation ou surestimation des durées opératoires

Suite à des complications pouvant survenir au cours du processus du soin médical, l'exécution d'une opération de soin peut dépasser la durée opératoire estimée (sous-estimation des durées opératoires). Cette situation est sujette à entrainer une perturbation de l'exécution du programme en cours. Pour résoudre ce problème, nous appliquons en premier lieu l'algorithme Shift Right afin de pouvoir décaler à droite toutes les interventions succédant l'intervention sous-estimée. La durée du décalage est égale au retard enregistré. Si l'algorithme Shift Right ne permet pas de résoudre le problème posé par l'arrivée de cette perturbation, suite à une (ou plusieurs) opérations de soin qui ne peut (peuvent) être traitée(s) dans les délais, la méthode tente de réordonnancer toutes les interventions qui succèdent l'intervention sous-estimée en accordant la priorité aux interventions les plus urgentes.
Nous présentons dans la figure III-19, l'approche réactive proposée dans le cas d'une durée opératoire sous-estimée.

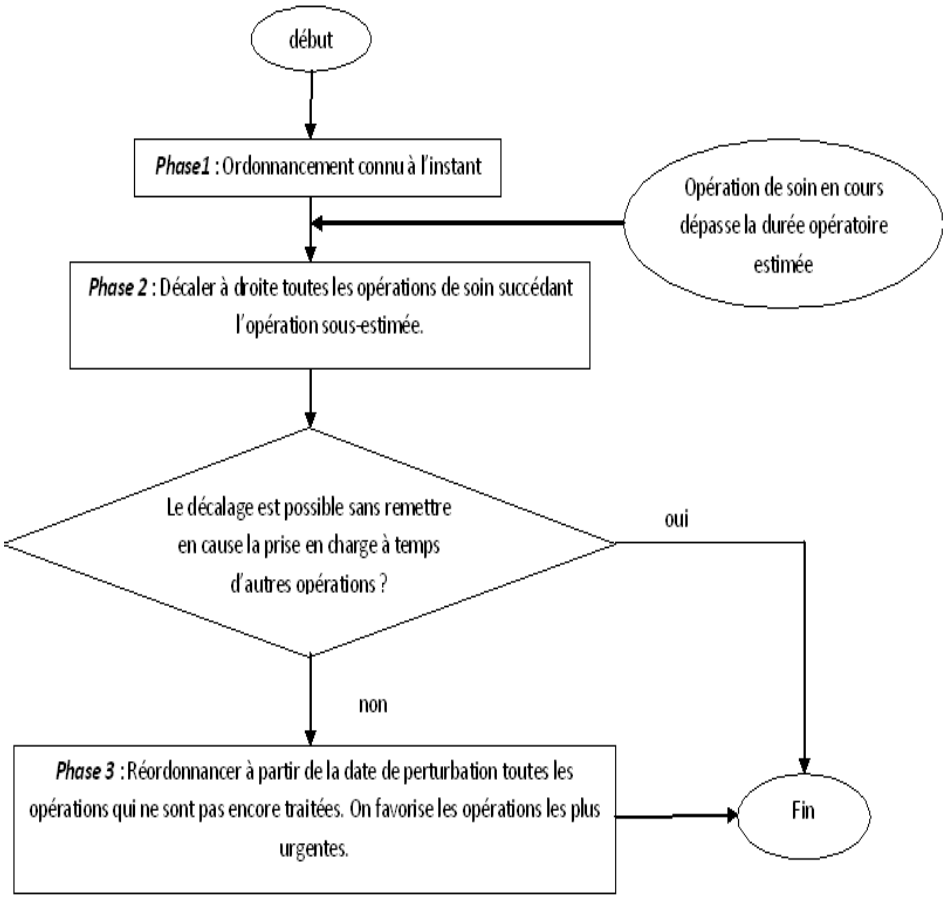

Figure III-25 Comportement réactif de l'AO dans le cas d'une durée opératoire sous-estimée

Les phases 1 et 3 sont les mêmes que celle décrites dans le paragraphe III.6.2.2.

OR-3P Phase 2 : Algorithme Shift-Right

P_m : personnel qui a connu le problème de sous-estimation.

$O_{i',j'}$: opération de soin sous-estimée.

φ_m : l'ensemble des opérations qui n'ont pas encore été traité par P_m.

I_m : card (φ_m)

s : indice d'une opération $O_{i,j}$ dans φ_m

s' : indice de l'opération $O_{i',j'}$ dans φ_m

Décaler à droite, à partir de l'opération $O_{i',j'}$, toutes les opérations affectées à P_m avec une durée égale au retard estimé R :

R= le temps réellement passé dans l'intervention – le temps estimé $d_{i',j',k}$

Pour ($s=s'+1$; $s< I_m$;$s++$)

  $t_s=t_s+R$

  Si $t_s >= dl_s$ Alors

    Retourner à l'ordonnancement initial et aller à la phase 3

  FinSi

FinPour

L'efficacité du système de gestion dans le SU est conditionnée par de multiples facteurs dont l'anticipation et la réactivité. Une situation d'exception est caractérisée par l'apparition brutale de plusieurs perturbations qui troublent l'exécution d'une opération. Face à une telle situation le SU doit disposer d'un outil d'aide à la décision lui permettant de réagir en temps réel. D'où la nécessité d'une coordination efficace au sein du SU qui a pour but établir les différentes affectations nécessaires des tâches de soin aux acteurs de soin en situation d'exception. En conséquence, pour optimiser le comportement de notre SMA, nous proposons une approche dynamique de coordination d'agents qui offre une flexibilité des interactions

inter-agent dont la finalité est de prendre en charge en situation d'exception les patients du SU dans les meilleurs délais.

III.7 Modèle proposé de coordination d'agents appliqué au service d'urgence

III.7.1 Les modèles existants de coordination d'agents

La coopération multi-agent, en vue d'engendrer un comportement global cohérent du SMA, requiert des mécanismes élaborés de coordination afin d'éviter des conflits potentiels et de favoriser la synergie des activités des agents [Bond et al., 88]. La coordination multi-agent fait souvent référence au processus qui contrôle la prise de décision et guide le comportement global inhérent à l'exécution d'une collection d'agents.

On distingue deux grandes classes de modèles de coordination :

- ***Les modèles orientés tâches :*** il s'agit de modèles applicables dans un contexte de résolution distribuée de problèmes (Distributed Problem Solving). Dans ces modèles de coordination on présuppose l'existence d'un but global partagé par un groupe d'agents au sein d'une organisation. C'est par exemple le cas de la métaphore des agents déménageurs, où il est question d'un ensemble d'agents (A_1;A_2; …) en charge d'assurer le déménagement d'une maison (tâche T) constituée de plusieurs pièces. Le but global des agents est alors d'accomplir la tâche T, et le but individuel de chaque agent A_i est d'accomplir une sous-tâche T_j selon l'allocation d'un gestionnaire.
- ***Les modèles orientés agents :*** il s'agit de modèles applicables dans le contexte d'agents (semi-) autonomes ne partageant pas forcément un but global sinon la cohérence et la viabilité du système. Dans ce cas de figure, les agents en tant qu'entités individuelles cherchent à optimiser leurs propres objectifs ou utilités (par exemple, gagner le maximum dans une situation de compétition des agents déménageurs).

Ces deux classes de coordination reposent sur les mécanismes détaillés dans les modèles que nous présentons ci-après. Notons d'ores et déjà que les modèles de coordination orientés tâches correspondent mieux aux caractéristiques du problème d'affectation des tâches de soin à une équipe médicale à compétences multiples.

Nous présentons alors les principales approches de coordination multi-agent.

III.7.1.1 Les structures organisationnelles

Une structure organisationnelle est une distribution fonctionnelle (de compétences, de rôles), spatiale (affectation à des régions délimitées) et temporelle d'agents. Une organisation peut être statique ou dynamique.

- Elle est dite statique lorsqu'elle fige a priori, lors de la conception du SMA, les comportements des agents ainsi que les règles de comportement qu'ils doivent respecter pour éviter des conflits potentiels. Ainsi, dans une coordination par règlementation, plusieurs conflits sont résolus a priori.
- Une organisation est dite dynamique lorsque ses fondements peuvent changer au cours du temps (ex. formation et dissolution de coalitions). Le problème de coordination dans ce cas consiste à spécifier l'organisation et la répartition dynamique des tâches à résoudre, la sauvegarde des compétences et connaissances du système lorsque l'organisation change et la représentation des connaissances organisationnelles [Gasser, 84].

La formation de coalitions

Un domaine très significatif pour les organisations dynamiques est celui de la formation de coalitions dans les SMA. Les coalitions sont des regroupements ponctuels d'agents compétitifs pour la réalisation d'un projet commun [Caillou et al., 01]. Une coalition peut être définie comme une organisation à court terme basée sur des engagements spécifiques et contextuels, ce qui permet aux agents de bénéficier de leurs compétences respectives. Dans un contexte économique par exemple, plusieurs compagnies s'allient virtuellement pour répondre à des offres nécessitant des compétences variées. Le principe de la formation de coalition a été proposé pour l'allocation de tâches pour la résolution de problèmes. Les travaux du domaine ont porté sur la recherche de consensus par formation de coalitions [Aknine, 00], [Vauvert, 02]. Par exemple, dans [Aknine, 00], l'approche consiste à coordonner des agents lors de l'allocation de tâches. Les agents considérés peuvent être coopératifs ou compétitifs. Cette approche se fonde sur une agrégation multicritère basée sur des techniques d'aide à la décision. L'approche décrite dans [Vauvert, 02] propose quant à elle un algorithme de consensus qui privilégie les libertés des agents où chacun peut changer de stratégie durant la phase de recherche du consensus et peut n'échanger que ses préférences.

III.7.1.2 La planification

L'approche de coordination par planification distribuée s'intéresse aux interactions qui existent entre les plans des agents. Dans ce type d'approches, la coordination peut s'exprimer par la résolution de conflits entre les activités des agents. Celle-ci peut être vue comme un processus de négociation [Zlotkin, 90] au cours duquel les agents doivent parvenir à un consensus, un processus d'argumentation [Kraus, 93] où chaque agent essaie de convaincre les autres du bien-fondé de sa proposition, une synchronisation entre les plans ou une fusion de plans [Alami , 95].

III.7.1.3 Les protocoles d'interaction

Un protocole d'interaction permet aux agents d'avoir des conversations, sous forme d'échanges structurés de messages [Huhns, 99]. Il décompose une tâche en sous-tâches et les distribue, suivant une stratégie donnée, aux agents du système. Cette stratégie doit par exemple permettre: d'allouer les tâches aux agents en fonction de leurs capacités, d'allouer les responsabilités aux agents de manière couvrante pour assurer la cohérence globale, etc.
On compte d'ores et déjà plusieurs protocoles d'interaction tels que le CNP (Contract Net Protocol) [Smith, 81] qui relève des réseaux contractuels et qui propose des séries épisodiques pour des actes d'intercommunication (annonces, enchères, messages de récompense) ; le protocole Rubinstein [Rubinstein, 82] alternant proposition et contre-proposition, FIPA-Request [FIPA,02] permettant aux agents d'accepter ou de refuser d'exécuter une requête ou encore les protocoles de ventes aux enchères [FIPA, 01] [Preist, 01].

III.7.1.4 Synthèse

Après analyse des différents travaux liés à la coordination multi-agent il en ressort que la difficulté pour la conception d'une approche dynamique de prise en charge des patients au service d'urgences réside principalement dans la conception d'un modèle dynamique d'interaction du personnel médical du SU, qui tient compte à la fois du but de la composition de la prise en charge des patients au SU en des tâches de soin nécessitant des compétences multiples. En effet, pour implémenter une coordination dynamique entre les différents agents de notre système, il s'agira d'abord pour les AMPs de prendre dynamiquement part à la décomposition et l'allocation des tâches de soin et ensuite utiliser des mécanismes de coordination tenant compte de leurs compétences afin d'interagir de manière flexible pour couvrir adéquatement ce but.

Par ailleurs, notre étude nous a conduites à la conclusion que les modèles de coordination multi-agent étaient un bon candidat pour pallier les limites des services d'urgences en particulier car ils apportent des solutions et des modèles pour tenir compte de plusieurs contraintes telles que la distribution des services, l'ouverture et la flexibilité de leur environnement. Cependant, certaines des difficultés précédemment soulevées restent insatisfaites, notamment la décomposition et l'allocation dynamique des tâches de soin en fonction des compétences des agents AMPs découverts.

C'est sur ce point que notre travail porte. Nous avons pour objectif de proposer un modèle de coordination orienté tâche, i.e. applicable dans un contexte de résolution distribuée de problèmes et dans lequel un but global à satisfaire (i.e. traiter le patient) est présupposé. Plus précisément, nous voulons concevoir un protocole d'interaction, fondé sur des agents hybrides, i.e. cognitifs et réactifs, capables de raisonner et d'interagir à propos de l'état de santé des patients au SU et de leurs propres capacités. Ceci afin de permettre aux agents de pouvoir prendre dynamiquement part à la décomposition d'une tâche à résoudre et de se coordonner avec d'autres agents pour pallier leurs limites et ainsi adéquatement couvrir l'intégralité de la tâche demandée. Le protocole d'interaction spécifié peut ainsi être instancié dans le contexte du SU et fonder une approche dynamique d'affectation des tâches de soin aux différentes équipes médicales à compétences multiples.

III.7.2 Modèle proposé de coordination d'agents au SU

Dans un service d'urgence, le personnel médical du SU est souvent confronté à traiter plusieurs patients en même temps. Ainsi, un patient peut être traité par divers médecins et infirmier(e)s. En conséquence, le personnel médical du SU est organisé dans un groupe coopératif qui partage les mêmes ressources, c'est-à-dire les patients. En raison de la forte dynamique du système et la grande quantité d'informations traitées par le personnel médical du SU, il arrive parfois qu'un personnel médical du SU néglige la mission qui lui a été allouée. Cela affaiblit le processus de coopération des acteurs humains. L'intervention d'un système artificiel est essentiel dans ce premier niveau, en vue d'organiser et de superviser les activités des acteurs humains du système coopératif. Le personnel médical du SU travaille sur la base d'un des plans d'activité généré dynamiquement par l'agent AO qui contient les temps et les lieux des services à être effectués pour les différents patients. Cette coordination est réalisée par des protocoles appropriés d'interaction entre agents.

Nous avons vu précédemment que la principale incertitude à laquelle est soumis un ordonnancement d'activité d'un SU est l'arrivée de nouvelles tâches de soin urgentes à insérer. En effet, non seulement elles ne sont pas prévisibles, mais elles peuvent générer d'importantes perturbations dans l'ordonnancement.

En vue de la coordination des agents coopératifs, ayant les mêmes buts, qui partagent et résolvent un ensemble de problèmes, nous proposons d'utiliser un protocole de négociation entre l'agent AO et les agents AMPs du système. Le protocole proposé vise à réaffecter dynamiquement les opérations de soin urgentes dont les agents AMPs dédiés à les accomplir ne sont plus disponibles. Ainsi, les agents AO et AMPs négocient la réattribution en temps réel les opérations de soin urgentes en attente aux AMPs.

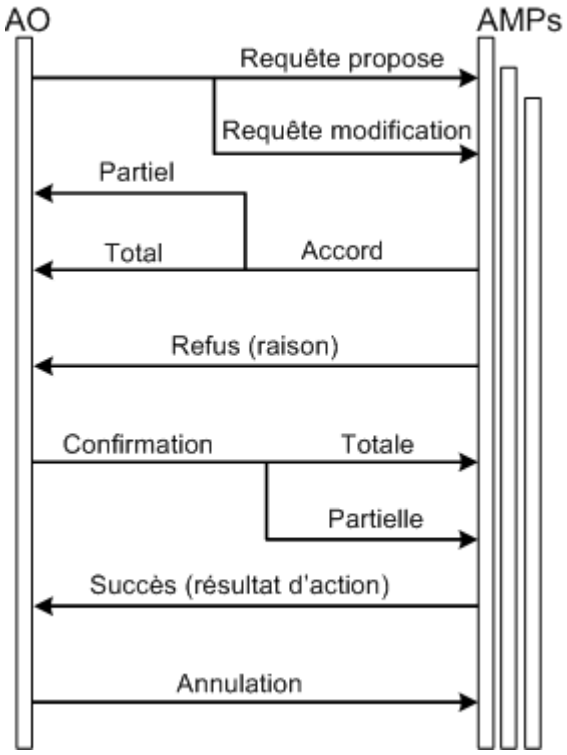

Figure III-26 Protocole de coordination proposé

Pour gérer une situation d'urgence, nous proposons un processus de négociation inspiré du FIPA-Request entre les agents AMPs [Daknou et al.,08a], qui représentent les participants de la négociation, et l'agent AO correspondant, qui représente l'initiateur de la négociation. Dans la solution proposée, un accord partiel [Zgaya et al., 07] de l'exécution de l'action proposée est possible de la part de chaque agent AMP. La partie acceptée est à confirmer partiellement ou totalement par l'initiateur de la négociation. Un procédé de

renégociation est nécessaire tant qu'il y a encore des tâches de soin à réaffecter après chaque tour de négociation. Le but de cette solution est de permettre aux agents AMPs de coopérer et de coordonner leurs actions afin de trouver des ordonnancements fiables selon leurs contraintes de disponibilité (Figure III-26).

D'après le protocole de négociation, la conversation se fait entre deux parties : l'initiateur et les participants.

III.7.2.1 L'initiateur

Un initiateur est un agent AO qui génère le plan d'activités de soin. Il connaît toutes les affectations des agents AMPs aux différentes opérations de soin. Il peut accepter une partie des réponses pour prendre sa décision à chaque courte période de temps et met à jour la liste des opérations de soin à réaffecter après chaque étape de confirmation. Au cas d'urgence vitale et de nécessité d'affecter des opérations de soins urgentes, l'AO, l'initiateur peut engendrer l'interruption d'un agent mobile AMP déjà en cours de traiter un autre patient par envoie d'une *requête modification*.

III.7.2.2 Les participants

Un participant est un agent AMP qui dispose de ses propres contraintes. Ses décisions changent en temps réel selon l'état du patient pris en charge et selon les décisions prises en cours du processus de négociation. L'ensemble des tâches qui nécessite un réordonnancement à l'instant *t* est noté par φ_t. L'agent AO génère un ordonnancement des opérations de soin et envoie la table d'opérations pour chaque agent AMP. En cas d'urgence, tous les agents AMPs ne vont probablement pas accepter totalement la proposition initiale s'il y a des opérations de soin appartenant à leur table ont été touché par l'urgence. L'agent AO va d'abord confirmer les parties acceptées du contrat avant de mettre à jour φ_t. Ensuite, il va envoyer une requête de modification à chaque participant actif des AMP. Le processus de négociation ne peut être interrompu que lorsqu'il n'y a plus d'opérations de soin non affectées $\varphi_t=\emptyset$. L'agent AO négocie en priorité la stabilité de l'urgence et ensuite il négocie le temps d'attente des patients. Suite à cette phase de négociation, l'agent AO reconstruit l'ordonnancement des opérations de soin.

III.7.3 Le langage de communication adopté entre agents

Un langage de communication est conçu pour l'échange, entre logiciels (agents), d'informations, de connaissances ou encore de services [Koning, 01]. Dans notre architecture, les agents sont munis d'un ACL leur permettant de communiquer à propos des besoins de l'agent AO et de construire des contenus de messages exprimant des informations à propos de leurs capacités.

III.7.3.1 Envoi de messages

Un agent envoie un message dans deux cas de figure :

1. S'il a reçu un message nécessitant d'être traité, il construit alors un message pour répondre à celui qu'il a reçu et l'envoie à l'émetteur de ce dernier ;
2. S'il exécute une action dont les effets consistent en l'envoi d'un ou plusieurs messages, alors il construit ces messages et les envoie au(x) destinataire(s) spécifié(s).

III.7.3.2 Syntaxe des messages

Pour construire les messages échangés entre les agents, ceux-ci utilisent un langage de communication appelé FIPA-ACL [FIPA, 02] qui comprend un niveau de communication et un niveau contenu :

1. Le niveau communication permet d'identifier les agents émetteur et récepteur, et précise l'identifiant du message ainsi que l'identifiant de celui auquel il est construit en réponse (i.e. le message d'origine). De plus, ce niveau affecte un identifiant de la conversation à laquelle appartient ce message, i.e. c'est un identifiant commun à l'ensemble des messages générés pour la satisfaction d'un même ensemble de besoins de l'utilisateur, et les identifiants des requêtes auxquelles le message répond.
2. Le niveau contenu englobe le contenu du message.

Chaque message en FIPA-ACL est constitué de champs obligatoires et facultatifs (§II.2.2.4.2). FIPA-ACL possède 21 actes communicatifs, exprimés par des performative, qui peuvent être groupés selon leur fonctionnalité de la façon suivante :

1. passage d'information : *inform, inform-if (macro act), inform-ref (macro act), confirm, disconfirm*
2. réquisition d'information : *query-if, query-ref, subscribe*
3. négociation : *accept-proposal, cfp, propose, reject-proposal*

4. distribution de tâches (ou exécution d'une action) : *request, request-when, request-whenever, agree, cancel, refuse*
5. manipulation des erreurs : *failure, not-understood*

Exemple

(inform
:sender agent-identifier: name i
:receiver (set (agent-identifier: name j))
:content "blood pressure (today, normal)"
:language Prolog
)

Dans le cadre de cette thèse, ces champs ne seront donc pas tous instanciés. Nous adoptons la forme suivante pour un message échangé:

< *sender*, *receiver*, *performative*, *content* >

Nous utilisons les performatives de FIPA.

III.7.3.3 Requête Proposition

La proposition de traitement des tâches de soin par le personnel correspond au message résultant de la première phase d'ordonnancement des différents patients présents au service d'urgences à l'instant *t*.

Si $\varphi_t \neq \emptyset$ alors il s'agit bien du phénomène d'organisation des équipes médicales à compétences multiples. L'initiateur AO envoie une proposition individuelle d'un ensemble d'opérations à chaque agent AMP actif doté de l'exécuter :

< AO, AMP_m, propose, V_m (t) >

V_m *(t)* présente l'ensemble des opérations de soin à traiter par l'agent AMP_m sur les différents patients présents à l'instant *t* au service d'urgences.

III.7.3.4 Réponse à la proposition

Lorsqu'un participant (agent AMP) reçoit l'ordre d'exécution de l'ensemble des opérations de soin V_m, il l'analyse et répond par:

- Un accord total s'il approuve l'affectation choisie des tâches par l'initiateur. Ce type de message ne porte pas de contenu, juste une performative d'acceptation:

< AMP_m, AO, Accord-proposition, $\emptyset$ >

- Un accord partiel s'il approuve une partie de la proposition. Le contenu du message exprime les références des tâches annulées:

< AMP$_m$, AO, Accord-partiel, V'$_m$(t) >

V'$_m$(t) présente l'ensemble des opérations de soin refusées et/ou leur exécution par l'agent *AMP$_m$* nécessite certains paramètres qui manquent dans le message.

- Un refus s'il n'est pas en mesure d'exécuter une action. Ce type de message ne porte pas de contenu, juste une performative de refus:

< AMP$_m$, AO, Refus, Ø **>**

III.7.3.5 Confirmation

Un agent initiateur (AO) doit confirmer indépendamment la partie acceptée de chaque ensemble de tâches de soin proposé. La confirmation peut-être:

- Totale si l'initiateur approuve totalement la réponse à la proposition. Ce type de message ne porte pas de contenu, juste une performative de confirmation:

< AO, AMP$_m$, Confirmation, Ø **>**

- Partielle si l'initiateur change d'opinion à propos de ce qu'il a déjà proposé. Ce changement d'opinion peut être le résultat d'un besoin urgent réclamé par l'agent AId. Le contenu du message exprime les références des tâches de soin accordées.

< AO, AMP$_m$, Confirmationpartielle, V''$_m$(t) >

V''$_m$ (t) présente l'ensemble des opérations de soin affectées à l'agent *AMP$_m$* à l'instant *t* et confirmé par l'agent AO.

III.7.3.6 Demande de modification

Si à l'arrivée d'un nouveau patient au SU nécessitant un soin immédiat, l'AO se rend compte que le personnel médical du SU ayant les compétences nécessaires pour stabiliser l'urgence est non disponible avant le délai limite d'intervention sur le patient, alors il informe les AMPs de la nouvelle situation en leur proposant de renoncer sur le traitement des tâches de soin en cours qui peuvent encore attendre. Autrement dit, s'il n'y a plus d'agents AMPs disponibles, l'AO envoi une demande de modification exprimant la dernière mise à jour des affectations suite à un réordonnancement des opérations de soin. Le contenu *requête*

modification du message exprime les opérations de soin à traiter à l'instant *t* pour que les agents AMPs puissent prendre connaissance des nouvelles affectations :

< AO, AMP$_m$, DemandeModification, V$_m$(t) >

La stratégie de réordonnancement est déclenchée quant la résolution par insertion des opérations du soin du patient (nouveau arrivé ou bien évolution du degré d'urgence au sein du SU) en situation urgente n'aboutit pas. Le résultat de cet ordonnancement sera le contenu du message *DemandeModification* de l'agent AO aux agents AMPs.

Algorithme de coordination des ECMs

Si $pr_{i',j'}$ >> et n'existe pas P_m dispo alors

Interrompre une opération $O_{i,j}$ de priorité $pr_{i,j} < pr_{i',j'}$

Déplacer un personnel P_m de son équipe *ECM (i,j)* et affecter P_m à *ECM(i',j')*.

Mettre à jour *Dispo-Perso[m]*

φ_{att} :, ensemble des opérations de soin en attente y compris celles interrompues.

Classer les opérations de φ_{att} selon l'ordre croissant des priorités $pr_{i,j}$.

Pour tout $O_{i,j}$ de φ_{att}

Pour ($k=1 ; k \leq K ; k++$)

Pour tout P_m de b_k

Si *Min (Dispo-Perso[m])* alors *ECM (i,j)* ∪ { P_m }

FinSi

Fin pour

Fin pour

Calculer les dates de début d'exécution selon la formule :

$t_{i,j} = Max(Dispo_Comp[m]$ tel que $d_{i,j,k} > 0$ et $P_m \in ECM(i,j))$;

Mettre à jour le vecteur des disponibilités des compétences

$Dispo_Comp[k] = t_{i,j} + d_{i,j,k}$

Fin pour

FinSi

III.7.3.7 Résultat d'action

Le participant renvoi les confirmations à la fin d'exécution de chaque action en associant certains attributs tels que la durée et les observations notées par le personnel médical du SU sur chaque acte médical. Le contenu de ce message exprime l'ensemble des opérations de soin traité à l'instant *t* en spécifiant l'ensemble des attributs de chaque opération de soin.

$$\mathbf{< AMP_m, AO, RésultatAction, V_m\ (t)>}$$

III.7.3.8 Annulation

Le processus de négociation peut être annulé (la fin du temps de négociation autorisé). Ce type de message ne porte pas de contenu, juste une performative classique d'annulation:

$$\mathbf{< AO, AMP_m, Annulation, \emptyset >}$$

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une approche d'optimisation pour la mise en œuvre d'un système d'aide à la décision au service d'urgences. L'approche adoptée est intégrée dans un système d'information multi-agent dont le comportement vise à satisfaire l'utilisateur en termes du temps d'attente des patients au SU et du coût de leur prise en charge. L'approche d'optimisation réactive proposée se base sur une interaction dynamique et flexible entre l'agent AO et les agents AMPs pour se coordonner efficacement afin de couvrir l'intégralité des tâches de soin à traiter au SU. Nous avons donc présenté dans ce chapitre le protocole de négociation adopté.

Chapitre IV
Simulations et résultats

IV.1 Introduction

Dans ce dernier chapitre, nous présentons les différents résultats issus de nos approches d'optimisation intégrées dans l'architecture distribuée proposée (§III.6). En conséquence, nous présentons dans un premier temps notre démarche de collecte de données. Dans le paragraphe IV-3, nous justifions l'usage de la plate forme de simulation choisie puis nous présentons les outils utilisés dans le paragraphe IV-4. Ensuite, un scénario d'un cas clinique au SU où nous expliquons comment les agents du SADSU agissent et ce qu'ils génèrent comme résultats est donné dans le paragraphe IV-5. Enfin, les expérimentations et l'analyse des résultats de simulation basée sur l'approche réactive adoptée sont présentées dans le paragraphe IV-6.

IV.2 Récolte d'informations terrain

Le besoin de simuler notre système SADSU sur le terrain au sein d'un SU suppose par essence l'utilisation d'un outil de collecte et de formalisation de données afin d'identifier quels sont les modes de fonctionnement du SU et de récupérer des données réelles nécessaires pour les tests fonctionnels. Or, l'observation directe est longue. On se tourne alors tout naturellement vers les méthodes d'enquête et d'interview, l'idée étant de questionner les acteurs pour avoir des informations et des indications sur le fonctionnement de chacun de manière plus en moins exhaustive. La collecte des données est réalisée dans le cadre du Projet ARCIR au Nord Pas de Calais. Pour améliorer l'efficacité de la récolte d'informations, nous avons utilisé une méthode d'interviews basée sur deux grilles de visite aux services d'urgences. Une première grille (Annexe1) qui décrit les caractéristiques et l'organisation de chaque SU visité. La deuxième grille décrit l'ensemble des activités qui composent les processus (production, supports, décision), elle comprend les concepts d'activités (description détaillées), flux (physiques, d'informations, financiers), objectifs, ressources (figure IV-1).

Numéro d'activité	Quoi (libellé de la tâche)	Qui compétences nécessaires	Quand	Où	Comment (définition, informations, matériels)	Supports d'information	Pourquoi (objectifs)	Indicateurs de performance	Commentaires

Figure IV-1 Exemple de grille d'entretien

On présente dans ce qui suit les caractéristiques de 4 services d'urgence : service d'urgence de CHRU Lille, de Dunkerque, de CH Lens et de Valenciennes.

Service d'urgence de CHRU Lille	• Accès aux urgences est près de l'entrée de l'hôpital. • Centre d'accueil avec infirmière d'accueil (gestion des dossiers médico-administratifs et préparation de dossier patient) • SAS unique pour les urgences « debout » et « couchées » • Salle d'attente grande • Pas de chiffres donnés pour les taux des entrées par type d'urgence • Malades graves annoncés avant leur arrivée • Patient identifié et dossier crée à chaque arrivée • Existence d'un registre chronologique des arrivées des patients • Orientation des patients selon la gravité par l'infirmière d'accueil • Délais d'attente variables • Urgences relevant de la permanence de soins et les urgences vitales (tous

	les patients sont admis) • Pôle d'excellence pour le traitement des cas graves
Service d'urgence de Dunkerque	• Il y a 43 à 44 milles passagers par an. • Le nombre de passagers est très variable, il est au minimum de 85 patients/jour et en maximum de 165 patients/jour. • Le service est récent : date de création mai 2003. • Le secteur de petits soins est ouvert de 8h à 23h. • L'unité d'hospitalisation est composée de 8 lits et une chambre fermée. • Pour les hospitalisations lourdes, 90 % des gens sont hospitalisés et 10 % sortent. • 4 box, une salle de suture et une salle d'attente. • Dans la salle de suture, seules les petites interventions qui ne sont pas impérativement sous-anesthésie (il ne s'agit pas d'une salle de bloc opératoire). • Un médecin, un interne et deux infirmières.
Service d'urgence de CH Lens	• Accueil médico-administratif : IOA • Zone de déchoquage : 3 salles et 2 patients par salle, surveillance plus

	rapprochée et continue, un cardiologue. • IDE en permanence. • 2 binômes : médecin + IDE gérant leurs patients. • Un pédiatre affecté
Service d'Urgence de Valenciennes	• Le nombre de passagers est très variable, il est au minimum de 107 patients/jour et en maximum de 200 patients/jour. • En 2000, l'activité a atteint 212 patients par jour. • Cette zone comprend une salle de déchoquage pour deux patients, elle est fonctionnelle 24H/24. • En cas d'augmentation de l'activité, il n'y a pas de possibilité d'appeler les personnels. • En cas de saturation dans les secteurs de soins, les patients peuvent être ramenés à l'UHCD. • L'assistante sociale est présente tous les jours sauf week-end et jours fériés de 9h à 19h. • Il y a 17 médecins et 43 infirmières.

Tableau IV-1 Caractéristiques de 4 services d'urgence du Nord-Pas-de- Calais

Durant notre étude sur le terrain, nous avons constaté un stress important du personnel et le mécontentement de certains patients à cause des temps d'attente trop longs. Nous avons noté aussi des difficultés au niveau de la gestion des flux patient surtout au niveau des étapes de mise en box, des examens complémentaires et lors de l'attente d'un lit d'hospitalisation.

Ainsi, en dehors de la prise en charge directe, médicale, le temps de passage dans les services représente le principal indicateur de qualité, par rapport à la satisfaction des patients. Tout patient ayant fréquenté les services d'urgence, après les soins, évoque le temps passé dans ces entités. D'après MEAH, la réduction des délais de prise en charge est considérée comme le principal indicateur de qualité non médical. Par exemple, les travaux de la MEAH sur la réduction des délais de prise en charge ont conduit à un découpage du processus en cinq étapes : l'accueil et le triage, la mise en box, les examens complémentaires, l'avis des spécialistes, l'hospitalisation en UHCD. Ce découpage est repris dans presque tous les services d'urgence. Il permet de réaliser des évaluations par étape et d'identifier des points d'amélioration ciblés. Les difficultés de retards du processus de prise en charge du patient sont liées aussi aux difficultés de gestion/ maîtrise de l'information associée à la gestion des flux de patients. Des efforts sont engagés pour :

- situer le patient dans le processus selon le franchissement des étapes
- situer les professionnels des services dans le processus et maîtriser leur disponibilité
- gérer la disponibilité des moyens matériels : médicaments, locaux, box, lits des UHCD etc. Il est parfois difficile d'avoir une idée exacte et précise de l'état de leur disponibilité au niveau intra services d'urgences et au niveau interservices de l'hôpital intégrant les services d'urgence.

En dehors d'outils classiques (bips, téléphones portables, tableaux « blancs », tableurs Excel) beaucoup de services ont investi dans des logiciels de planification, de suivi d'activité, d'organisation (bientôt de géo-localisation). Ces différents outils ont leurs avantages et leurs inconvénients, mais sont tous limités en matière d'ordonnancement in situ, de simulation dynamique.

Notre travail d'optimisation se focalise sur l'organisation des ressources dans un cadre dynamique dans l'optique d'une minimisation du temps de passage pour un maximum de qualité des soins au SU.

IV.3 Plateformes de développement de systèmes multi-agents

De la même façon que pour la conception de systèmes utilisant le paradigme objet, on a vu apparaître des outils de développement rapides pour la conception de systèmes reposant sur l'utilisation du paradigme agent. Des plateformes génériques sont elles-aussi apparues. Après avoir examiné plusieurs de ces plateformes, très peu apparaissent comme pouvant

servir réellement à la conception de tout type d'applications. En effet la plupart s'adapte souvent à la conception d'un type d'application ou d'une classe d'application mais rarement plus. Il apparaît, de plus, que la définition d'un agent est beaucoup trop vague pour qu'un modèle générique et universel puisse exister.

Parmi les plateformes les plus connues on peut citer SWARM [Burkhart, 94] [Daniels, 99] [Daniels, 00]; DIMA [Guessoum, 96], MADKIT [MADKIT, 01], Zeus [Azvine et al., 00], [Jade, 00] etc.

SWARM est une plate-forme de développement d'applications de simulation à événements discrets de systèmes complexes. Elle a été développée en Objective C. DIMA (Développement et Implémentation de système Multi-Agents) a été développée par Zahia Guessoum dans le cadre de ses travaux de thèse [Guessoum, 96]. L'architecture des agents qui a été choisie pour le développement de cette platforme est une architecture modulaire (module de supervision, module de communication, module de perception, module de raisonnement).

MADKIT (pour Multi-Agent Development Kit) est une plateforme générique qui repose sur la notion d'agents légers [MADKIT,01] [Gutknecht et al., 97]. L'ensemble du développement a été fait en java. Trois concepts principaux ont été introduits dans la réalisation de la plateforme MadKit : la présence d'un micro-noyau, une agentification des services et une interface componentielle.

Zeus est une platforme de développement de SMA générique, personnalisable et pourrait être augmentée par l'adjonction de nouveaux composants. Elle est présente sous forme d'un ensemble de classes implémentées dans le langage Java. En cela, elle est complètement portable et peut être utilisée sur tout système disposant d'une machine virtuelle Java. De par sa généricité, elle peut être utilisée dans la conception d'un grand nombre d'applications mais en retour nécessitera des augmentations assez nombreuses et spécifiques à chaque type d'application.

On peut trouver une liste recensant un grand nombre de plates-formes de développement à l'adresse URL http://www.agentbuilder.com/AgentTools/index.html.

Pour la sélection de la plateforme, nous avons négligé les critères insignifiants telles que la difficulté d'apprentissage ou la non disponibilité des sources. Néanmoins, nous avons souligné quelques critères importants :

- La possibilité d'implémenter des systèmes relativement complexes ;
- La flexibilité : éviter les plates-formes qui supportent une méthodologie particulière ;
- L'accélération de développement grâce à la présence suffisamment importante de briques logicielles pour pouvoir produire une application aboutie ;

- Le traitement distribué

Pour nos travaux, nous avons néanmoins décidé d'utiliser une plate-forme conforme à la FIPA (Foundation of Intelligent Physical Agents) car celle ci répond particulièrement bien à nos besoins. La FIPA est une organisation dont l'objectif est de produire des standards pour l'interopération d'agents logiciels hétérogènes. Cette plate forme nommée JADE (Java Agent DEvelopement framework) est un logiciel-médiateur « middleware » créé par le laboratoire TILAB. JADE permet une implémentation flexible des Systèmes Multi-Agents communiquant grâce à un transfert efficace des messages ACL (Agent Communication Language) conformes aux spécifications de la FIPA. JADE est écrit en Java, supporte la mobilité, évolue rapidement et fait partie des plateformes multi-agents qui offrent la possibilité d'intégration des services Web [Greenwood, 05]. D'un autre côté, JADE tente de faciliter le développement des applications agent en optimisant les performances d'un système d'agent distribué. Avec JADE, il y a la possibilité de distribution sur différents serveurs ainsi que de communications entre plateformes JADE.

IV.4 Outils et paramétrages

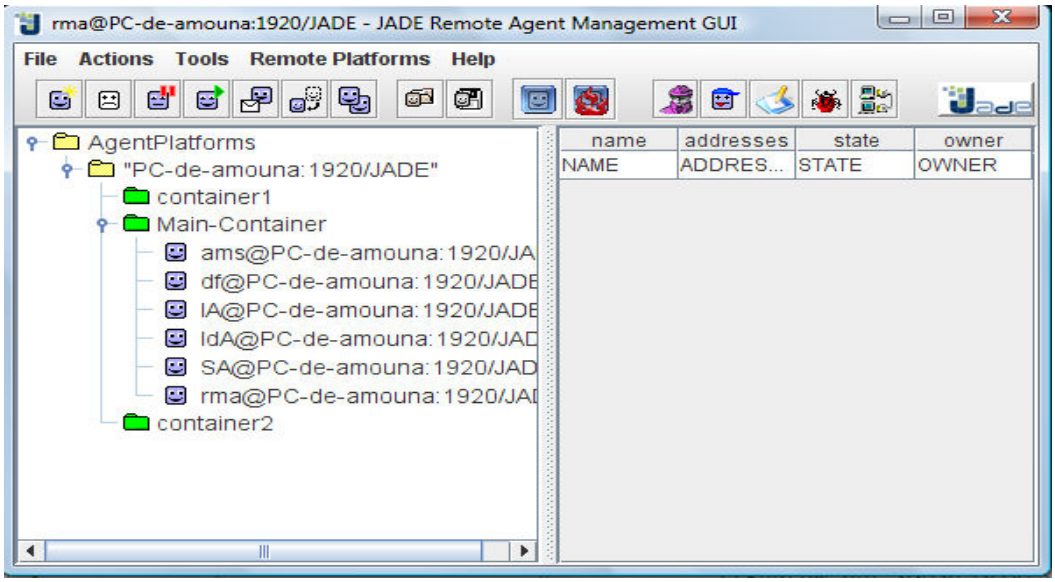

Figure IV-2 Administrateur JADE

La présentation des différents outils d'administration va nous permettre de mieux comprendre le fonctionnement de la plate forme JADE et ses possibilités. Cette présentation

s'inspire du guide de l'administrateur JADE[22]. Il est important de noter que JADE est une plate forme intégralement multi agents, ce qui veut dire que chaque outil de l'administration (figure IV-2) est un agent indépendant.

Par exemple, l'interface d'administration principal est gérée par l'agent *«RMA[23]»*. Il existe un outil, nommé *« introspector »* qui permet de connaître dans les détails l'état de fonctionnement d'un agent. Il existe un second moyen de connaître l'évolution des communications inter agent : le *« sniffer »*. Il permet non plus de connaître la liste des communications reçues ou envoyées par un agent unique, mais d'établir le cheminement des communications entre plusieurs agents. La figure IV-3 permet d'observer l'évolution des communications des agents du SADSU.

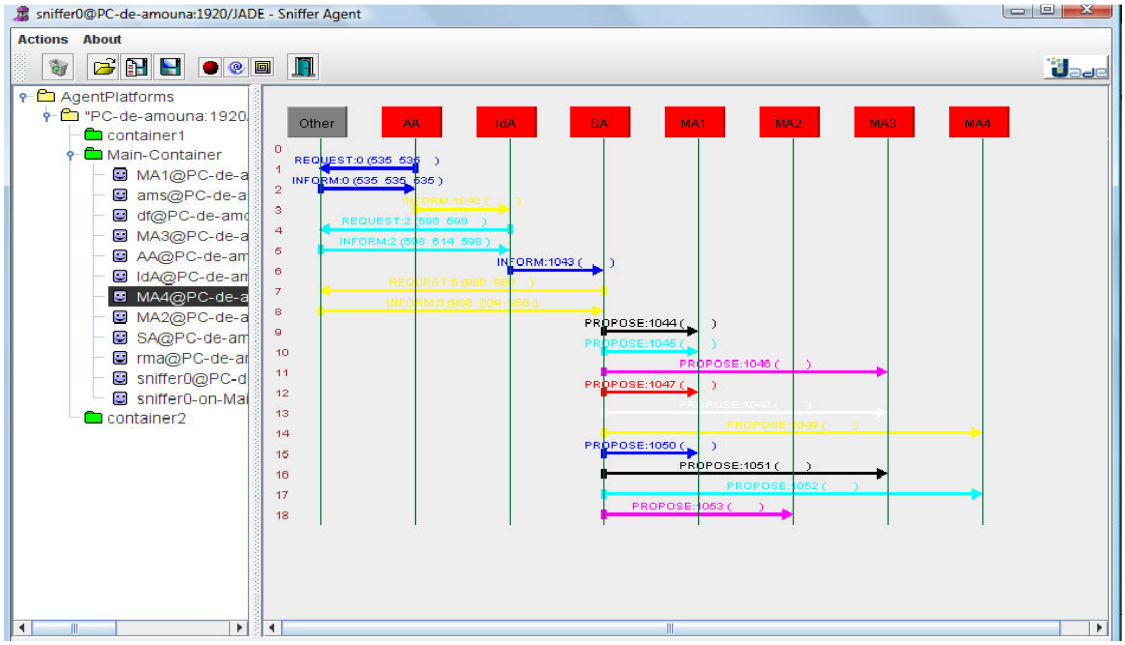

Figure IV-3 Agent Sniffer

Si on veut tester un agent indépendamment des autres, il est nécessaire de pouvoir lui envoyer des messages et voir ses réponses. On utilise pour cela le *« Dummy Agent »*. Il est possible de lui configurer un message à envoyer à un agent en particulier, et de voir la réponse de celui ci. On peut suivre l'évolution de l'activité de l'agent pendant le traitement de ce message à l'aide du *Sniffer* et de l'*Introspector*. A eux trois, ces outils forment un puissant système de débuggage en temps réel.

Il existe un dernier outil important dans la plate forme JADE, correspond au «

[22] JADE Administrator's GUIDE
[23] Remote Managemet Agent

Directory Facilitor Agent », ou « *DF* ». Il s'agit d'un service de pages jaunes, accessibles aussi bien depuis l'interface d'administration que depuis un agent. Le *Directory Facilitator* est l'agent qui gère ce service. Ainsi, tout agent fournissant un service doit se déclarer auprès du DF, et tout agent recherchant un service particulier doit le consulter.

IV.5 Le SADSU en action

Pour mieux comprendre comment SADSU fonctionne, nous présentons dans cette section un scénario d'un cas clinique au SU où nous expliquons comment les agents du SADSU agissent, comment ils coopèrent, quelles sont les informations qu'ils utilisent et ce qu'ils génèrent comme résultats.

Supposons l'arrivée de 3 patients à l'instant *t=0* à un service d'urgences disposé de 4 personnels médicaux disponibles maîtrisant 3 types de compétences avec des degrés d'expérience compris entre 0 et 1 (voir tableau IV-2 et IV-3).

IdPersonnel	Description
P_1	Médecin Urgentiste
P_2	Infirmière 1
P_3	Infirmière 2
P_4	Aide soignante

Tableau IV-2 Description du personnel médical du SU

	Personnes			
	P_1	P_2	P_3	P_4
C_1	1	0,4	0.4	0
C_2	0,8	1	1	0,6
C_3	0,7	1	1	1

Tableau IV-3 Degré de connaissance du personnel

- Le patient 1 souffre d'un traumatisme crânien bénin sans perte de conscience.
- Le patient 2 souffre d'un arrêt cardiorespiratoire.
- Le patient 3 souffre d'une pneumonie non compliquée.

L'agent AA est lancé suite à la saisie des données collectées des patients dans le système par l'IAO. Le SADSU tourne normalement sur son ordinateur (ou tablette). L'IAO s'approche du patient pour une évaluation de triage, à savoir qu'elle l'examine pour la première fois et qu'elle demande à ses parents quelques questions au sujet de son histoire et le contexte. Ces données stockées dans le système vont déclencher la création de l'agent AId qui génère les diagnostics des patients présents dans le système afin de suggérer leur plan de traitement (les différentes tâches de soin avec leur durée en minute et les compétences nécessaires à les traiter).

Compétences	Opérations (délai limite d'intervention)						
	$O_{1,1}(12)$	$O_{2,1}(14)$	$O_{1,2}(5)$	$O_{2,2}(7)$	$O_{3,2}(9)$	$O_{1,3}(10)$	$O_{2,3}(11)$
C1	30	0	30	30	0	30	0
C2	30	30	30	30	15	30	30
C3	0	30	0	30	15	0	30

Tableau IV-4 Identification des opérations de soin à compétences multiples à t=0

Les données reportées dans le tableau IV-4 seront transmises à l'agent AO qui a pour mission de générer les équipes médicales à compétences multiples nécessaires pour le traitement de chaque patient. Le plan de travail est donné par l'application de la *phase 1* de l'*OR-3P*. Il est composé de 15 opérations de soin ordonnancées sur les 4 membres du personnel présents au SU. Après avoir trié les opérations dans l'ordre de priorité, l'agent AO examine les compétences requises pour chaque opération de soin et cherche la personne la plus adéquate et la plus disponible à l'exécuter. Par exemple, pour l'opération de soin $O_{1,2}$ qui

est jugée la plus urgente, sa réalisation dépend des deux compétences C_1 et C_2. Pour C_1, le personnel P_1 est le plus apte à l'exécuter et pour C_2, P_2 et P_3 sont classés les meilleurs à maîtriser cette compétence. On préférera le plus disponible des deux et puisque pour notre cas les deux personnels sont disponibles. Le programme choisira au hasard parmi eux. Pour notre exemple, P_2 est sélectionné pour accomplir le travail. L'opération $O_{2,2}$ ne peut être exécutée qu'après avoir les résultats de celle $O_{1,2}$ (contrainte de précédence). Le détail de cet ordonnancement établi à l'instant *t=0* est donné dans le diagramme de Gantt de la figure IV-4. Chaque membre mobile de l'équipe médicale (AMP) reçoit cette proposition d'affectation des tâches de soin sur son PDA ou téléphone mobile. Après que le SADSU fournit une suggestion de traitement, les AMP peuvent confirmer leur accord ou encore, ils peuvent toujours n'accepter qu'une partie de la proposition tout dépend de leur contraintes de disponibilités. Le processus de négociation proposé dans cet exemple nous permet de confirmer l'affectation donnée dans la figure IV-4. Après avoir reçu une requête *propose* de l'agent AO, chaque agent AMP a pris connaissance de la nature des tâches de soin à faire et envoie son *accord total* pour leur exécution. Enfin, l'agent AO diffuse une *confirmation totale* de la réponse des agents AMPs.

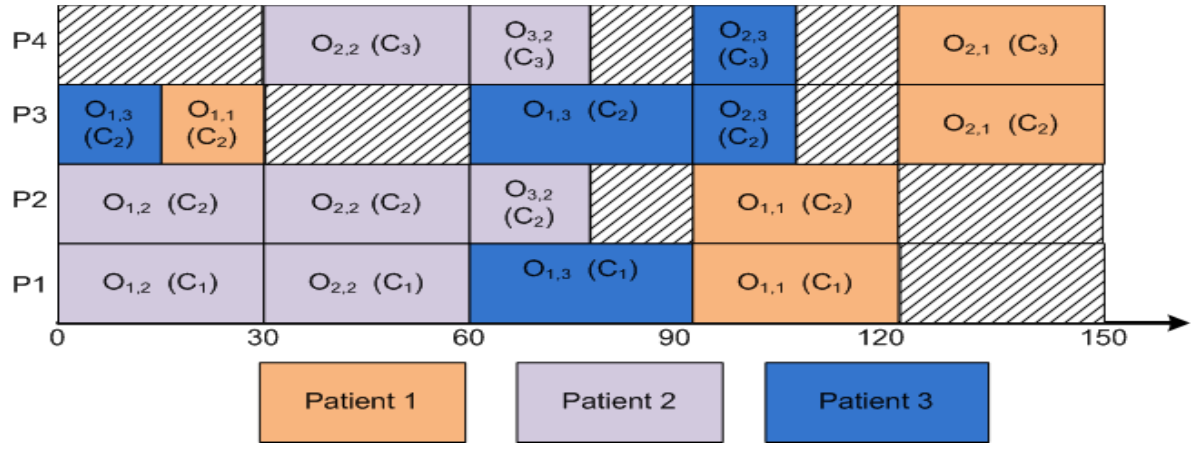

Figure IV-4 Diagramme de Gantt à l'instant t=0

Supposons maintenant l'arrivée à l'instant t_2 de 3 nouveaux patients:

- le patient 4 qui souffre d'une hypertension nécessitant un soin urgent.
- le patient 5 blessé au genou.
- Le patient 6 qui présente un état grippal.

Compétences	Opérations (délai limite d'intervention)					
	$O_{1,4}$ (6)	$O_{2,4}$(10)	$O_{1,5}$(16)	$O_{2,5}$(19)	$O_{1,6}$(15)	$O_{2,6}$(16)
C1	30	15	0	15	0	15
C2	30	30	15	15	30	15
C3	0	0	15	0	0	0

Tableau IV-5 Identification des opérations de soin à compétences multiples à t_2

De la même façon que précédemment décrit, l'agent AA va enregistrer les données relatives à ces patients et attribuer un ordre de priorité à chacun d'eux (tableau IV-5). Ainsi, le patient 4 devient plus prioritaire que le patient 3 et 1 non encore traités et même encore il nécessite d'interrompre la 2ème opération $O_{2,2}$ du patient 2 qui est en cours d'exécution. De ce faite, l'agent AO va générer un nouvel ordonnancement en tenant compte des nouvelles circonstances. Les plages inexploitées de chaque membre du personnel seront calculées afin d'essayer d'insérer les opérations de soin de nouveaux patients arrivés. Ainsi, nous constatons dans cet exemple qu'il est possible d'insérer les premières opérations de soin du patient 5 et 6 en adoptons la *phase 2* de l'*OR-3P*. Le réordonnancement donné par la *phase 3* de l'*OR-3P* va permettre d'affecter les opérations de soin du patient 4 avant de traiter celles des patients 3 et 1 qui vont être décalées à droite puisqu'elles ne seront pas encore traitées tant qu'elles ne sont pas très urgentes et peuvent attendre sans conséquence. Puis, on trouve les opérations du soin $O_{2,5}$ et $O_{2,6}$ du patient 5 et 6 qui sont les moins prioritaires ce qui explique leur position à la fin de l'ordonnancement. Le nouvel ordonnancement établi à l'instant t_2 est donné par la figure IV-5. Chaque membre mobile de l'équipe médicale (AMP) reçoit cette nouvelle proposition d'affectation des tâches de soin afin de valider son accord ou éventuellement son refus si l'ordonnancement n'a pas pris en compte ses contraintes.

Le processus de négociation proposé nous permet de réaffecter l'ensemble φ_{att} (ensemble des opérations de soin en attente) comme il est indiqué à la Figure IV-5 qui montre que la plus grande partie de φ_{att} est réaffectée grâce à la contrainte de gravité. A la réception de la requête *Demande Modification*, les agents AMP_1 et AMP_2 relatifs au personnel médical P_1 et P_2 répond par un *accord total* parce que, dans notre situation, ils ont déjà stabilisé l'état

du patient 2 et peuvent se déplacer pour le patient 4 sans conséquence grave sur sa santé. L'agent AO envoie alors une *confirmation totale* de la réaffectation validée aux agents AMP_1 et AMP_2.

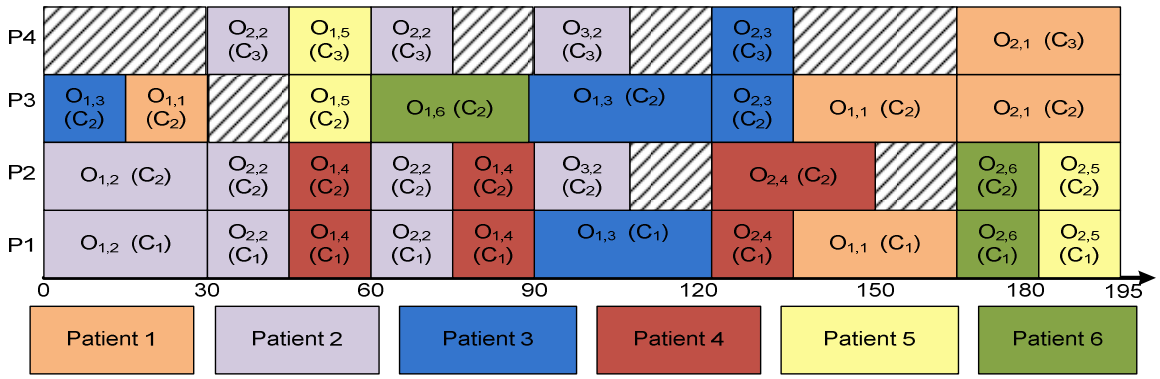

Figure IV-5 Diagramme de Gantt à l'instant t_2

Supposons que l'état du patient 2 ne tolère pas la libération de P_1 et P_2. Dans ce cas, suite à la requête *modification* lancée par l'agent AO, les agents AMP_1 et AMP_2 ne vont accepter que partiellement cette nouvelle proposition de tel sorte qu'à partir de la date de fin de l'opération $O_{2,2}$ en cours ils acceptent de réaliser la suite des opérations. Ainsi l'agent AO confirme partiellement l'affectation en attendant qu'il trouve une nouvelle solution. Finalement, la nouvelle affectation envoyée par l'agent AO consiste à déléguer au départ l'opération $O_{1,4}$ à P_3 en attendant que P_1 le rejoigne pour finir la tâche. Cette solution approuvée par tous les agents AMPs donc ces derniers renvoient une acceptation totale à l'AO qui finit par la confirmer totalement. La réaffectation est donnée par la figure IV-6 suivante.

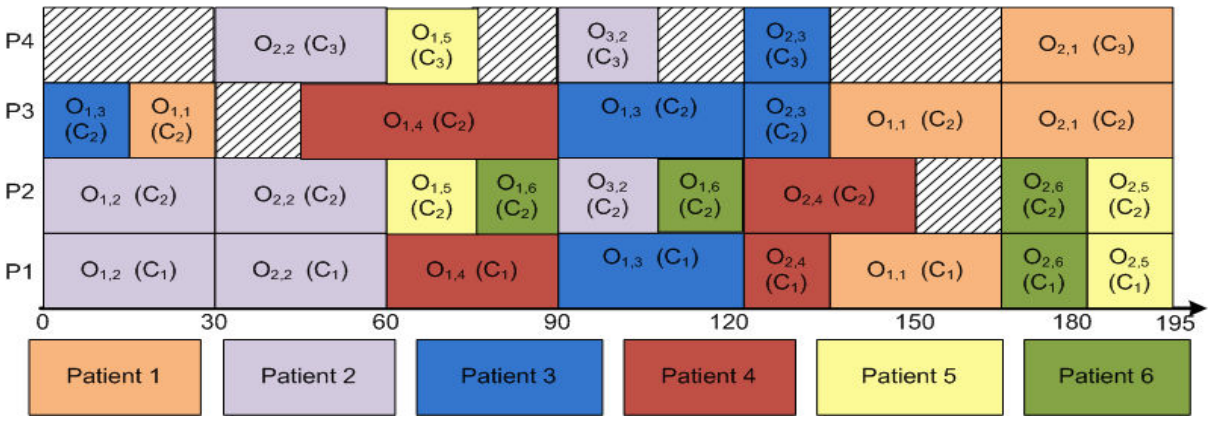

Figure IV-6 Diagramme de Gantt à l'instant t_2 après négociation

IV.6 Expérimentation et analyse des résultats

IV.6.1 Problèmes tests

Les simulations sont intéressantes puisqu'elles nous permettent de ne pas prendre de risque vis-à-vis des patients lors de l'étude des stratégies. Il est ainsi possible de tester tous les algorithmes *à priori* utiles sans avoir besoin d'émettre d'hypothèse préalables sur leur innocuité. De plus, les simulations permettent de ne retenir que les stratégies les plus adéquates pour la réalisation de prototypes destinés à la pratique de tests en milieu clinique. Ainsi, la simulation trouve tout son intérêt lorsqu'elle est utilisée pour modéliser les flux de patients complexes et pour tester les scénarii de changement des règles de pilotage. C'est le cas dans les services d'urgence, où les patients arrivent de manière aléatoire et nécessitent un large éventail de traitements (allant du soin léger à la prise en charge de blessures graves), couvrant moult services et spécialités. Les simulations peuvent également servir de base pour étendre nos résultats à d'autres secteurs que le service d'urgences ou encore proposer d'autres développements comme celui des stratégies d'amélioration de la qualité de présentation de l'information au personnel médical (ergonomie des interfaces).

A cause de la nature de la problématique étudiée, nous n'avons pas trouvé de problèmes tests dans la littérature. Ainsi, pour réaliser ces simulations nous avons défini 30 instances de taille maximale égale à 100, en nous basant sur des données réelles relatives au service d'urgences de l'hôpital Sahloul de Sousse en Tunisie (voir annexe 2). Ces données sont générées à partir d'informations récoltées auprès de praticiens, tout en respectant les procédures hospitalières appliquées dans le service d'urgences.

La validation du modèle est prioritaire avant la phase d'expérimentation. Nous avons effectué beaucoup de tests pour examiner et ajuster le paramétrage et le contrôle du modèle afin d'approcher la réalité, le plus finement possible.

Dans le service d'urgence étudié, il existe quatre classes de patients :

- Classe 1: cas non grave
- Classe 2: cas moyennement grave
- Classe 3: cas grave
- Classe 4: cas très grave

Lorsqu'un patient de la classe cas très grave arrive, il doit être immédiatement soigné et donc il peut interrompre le service d'un patient cas non grave ou moyennement grave. En analysant les données récoltées au sein du CHR Sahloul, nous avons retenu que la prise en charge d'un patient est généralement composée de 5 tâches de soin:

- T1 : La tâche administrative ;
- T2 : La ou les visite(s) d'un médecin généraliste
- T3 : L'analyse ;
- T4 : La radiologie ;
- T5 : La visite d'un médecin spécialiste.

Par ailleurs, certaines tâches de soin peuvent s'exécuter en parallèle et mobiliser plusieurs personnes simultanément et d'autres peuvent être omises du parcours du soin (comme dans le cas où il n'y a pas nécessité de faire une radiographie). La figure IV-7 ci-dessous est l'histogramme du nombre de patients traités par chaque membre du personnel médical du SU durant une semaine basé sur les données réelles d'avril 2010.

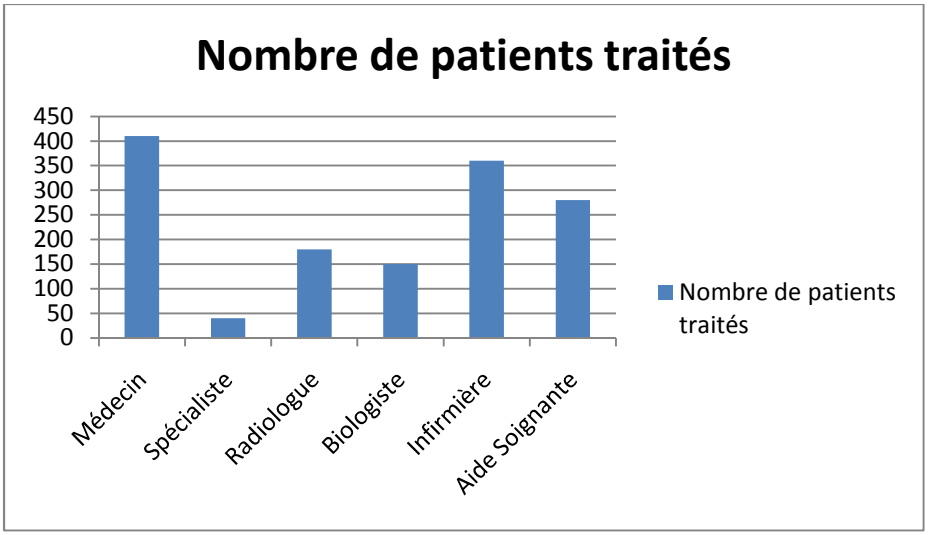

Figure IV-7 Le nombre de patient traité par le personnel médical du SU pendant une semaine

Par comparaison avec les données réelles, nos résultats présentés sur la figure IV-8 qui indiquent le nombre de patients traités par chaque membre du personnel médical du SU urgentiste démontrent que notre modèle peut être un outil de simulation fiable et contribuer aux diagnostics par la suite.

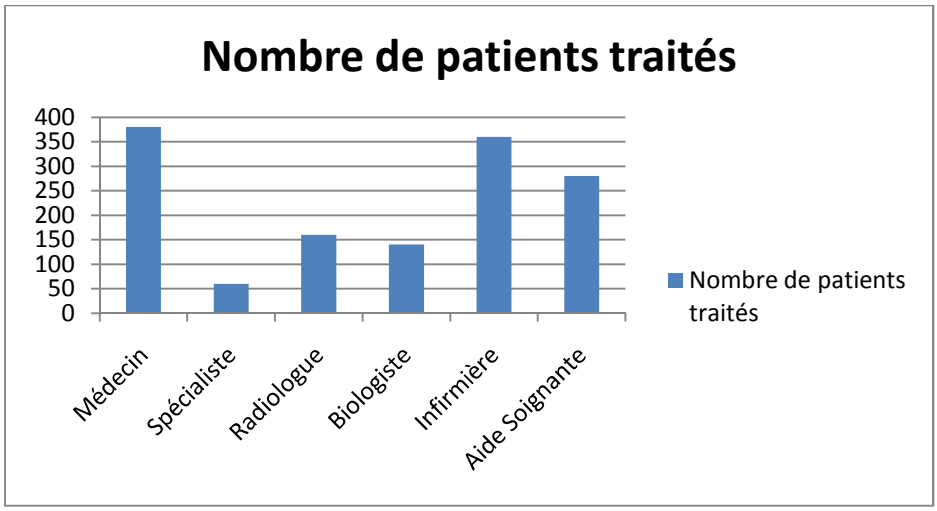

Figure IV-8 Le nombre de patient traité par le personnel médical du SU pendant une semaine avec SADSU

Les instances générées pour nos tests, diffèrent entre elles par le nombre du personnel médical du SU présents au SU (M = 6, 7 et 8) et les degré de connaissance de chaque membre du personnel $C_{m,k}$ compris entre *0* et *1,* où $m=1,2,...,8$ et $k=1,...,6$ les différentes compétences à maîtriser en médecine d'urgence, sont rapportées dans le tableau IV-6 et IV-7.

Identifiant Compétence	Description
C_1	Médecine générale
C_2	Soin spécifique
C_3	Radiologie
C_4	Biologie
C_5	Soin infirmier
C_6	Soin de confort

Tableau IV-6 Compétences médicales au SU

P_i \ C_i	P_1 (Médecin)	P_2 (Spécialiste)	P_3 (Radiologue)	P_4 (Infirmière)	P_5 (Aide Soignante)	P_6 (Biologiste)	P_7 (Médecin)	P_8 (Infirmière)
C_1	1	1	0,7	0,3	0,2	0,8	1	0,3
C_2	0,5	1	0	0	0	0	0,5	0
C_3	0,2	0,2	1	0	0	0,2	0,2	0
C_4	0,2	0,2	0,2	0,2	0	1	0,2	0,2
C_5	0,8	0,8	0,8	1	0,6	1	0,8	1
C_6	0,8	0,8	0,8	1	1	1	0,8	1

Tableau IV-7 Compétences maîtrisées par le personnel médical du SU

Nous nous limitons à un échantillon de 100 patients par jour. Les compétences (C_k) et les durées opératoires ($d_{i,j,k}$) des opérations de soin $O_{i,j}$ nécessaires pour la prise en charge de chaque patient j, les dates limites d'interventions ($dl_{i,j}$) et les dates d'arrivées des patients (rp_j) sont reportées l'annexe 3. Nous présentons dans le tableau IV-8 un exemple de 20 patients avec $P=6$ qui nécessitent pour leur problème médical un nombre de 3 ou 4 opérations de soin avec la possibilité d'un traitement parallèle de certaines opérations au cas du besoin d'une mobilisation d'une équipe à compétences multiples.

$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)	$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)
O1,1	C_1 ,C_4	30	210	0	O1,11	C_3	15	880	70
O2,1	C_3 ,C_5	20	510	0	O2,11	C_1	20	900	70
O3,1	C_2	30	670	0	O3,11	C_2 ,C_4	30	930	70
O1,2	C_1 ,C_5	15	180	15	O1,12	C_4	10	960	75
O2,2	C_3 ,C_4	30	320	15	O2,12	C_1	10	980	75
O3,2	C_2	20	410	15	O3,12	C_3	30	990	75
O1,3	C_2 ,C_4	40	480	25	O4,12	C_2 ,C_5	20	1080	75
O2,3	C_3 ,C_6	30	620	25	O1,13	C_1	20	900	75
O1,4	C_1 ,C_4	15	300	30	O2,13	C_2 ,C_3	30	930	75
O2,4	C_2	20	430	30	O1,14	C_4	10	1000	85
O3,4	C_1 ,C_3	40	520	30	O2,14	C_1	20	1002	85
O1,5	C_1 ,C_4	15	270	30	O3,14	C_3 ,C_5	30	1010	85
O2,5	C_3 ,C_5	40	350	30	O4,14	C_2	10	1080	85
O3,5	C_6	20	410	30	O1,15	C_4	20	900	90
O4,5	C_1 ,C_4	15	430	30	O2,15	C_5	30	930	90
O1,6	C_3	20	750	40	O3,15	C_1	10	980	90
O2,6	C_1	15	810	40	O1,16	C_1	20	1000	90
O1,7	C_2,C_4	30	650	45	O2,16	C_4 ,C_5	30	1030	90
O2,7	C_1 ,C_5	20	710	45	O1,17	C_3	10	1080	100
O3,7	C_4	30	790	45	O2,17	C_1	20	1090	100
O1,8	C_1	20	900	50	O3,17	C_1 ,C_4	30	1030	100
O2,8	C_2 ,C_5	30	930	50	O1,18	C_1	10	1100	110
O1,9	C_5 ,C_6	50	180	60	O2,18	C_4	20	1100	110
O2,9	C_2 ,C_4	30	250	60	O3,18	C_2 ,C_5	30	1100	110
O3,9	C_1	20	280	60	O1,19	C_2	40	700	115
O1,10	C_3	10	880	60	O2,19	C_3	20	900	115
O2,10	C_1	20	900	60	O3,19	C_6 ,C_5	30	930	115
O3,10	C_2 ,C_5	30	930	60	O1,20	C_1,C_5	25	1880	120

Tableau IV-8 Les durées de chaque opération de soin

IV.6.2 Les Résultats

L'analyse des résultats de simulations nous permettra de valider le principe de mise en œuvre de la méthode réactive proposée ainsi que le modèle de coordination du personnel médical au SU. La résolution par nos approches proposées, fournit les détails du planning des opérations de soin à réaliser par le personnel du SU. Considérons à titre d'exemple l'instance où on traite 12 patients présents au SU avec la présence de 6 acteurs de soin (Médecin urgentiste, spécialiste, radiologue, biologiste, infirmier(e) et une aide soignante). La date de début ($t_{i,j}$) de chaque opération de soin ($O_{i,j}$) ainsi que l'équipe médicale (*ECM*) qui la réalise sont données dans le tableau IV-9.

$O_{i,j}$	$t_{i,j}$	ECM	$O_{i,j}$	$t_{i,j}$	ECM
O1,1	45	P4	O1,7	75	P4, P2
O2,1	75	P5, P6	O2,7	105	P3
O3,1	90	P1, P4	O3,7	120	P2
O1,2	105	P4	O4,7	135	P6
O2,2	120	P6	O1,8	105	P1, P5
O3,2	135	P3	O2,8	120	P3
O4,2	150	P2	O3,8	150	P1, P5
O1,3	0	P2	O1,9	120	P1, P4
O2,3	30	P6	O2,9	150	P6
O3,3	60	P1, P5	O3,9	165	P2
O1,4	0	P1, P4	O4,9	180	P2, P4
O2,4	30	P3, P5	O1,10	135	P4, P5
O3,4	45	P2	O2,10	165	P1, P4
O1,5	30	P1, P4	O1,11	120	P5
O2,5	60	P2	O2,11	150	P3, P4
O3,5	90	P3, P5	O3,11	180	P1
O4,5	105	P2	O1,12	75	P3
O1,6	0	P5	O2,12	90	P6
O2,6	45	P3	O3,12	135	P2
O3,6	75	P1	O4,12	170	P3, P5

Tableau IV-9 Exemple du plan de traitement détaillé

En utilisant les résultats fournis par le SADSU, le détail du plan du travail de chaque membre du personnel médical du SU est donné par l'algorithme OR-3P proposé (figure IV-9).

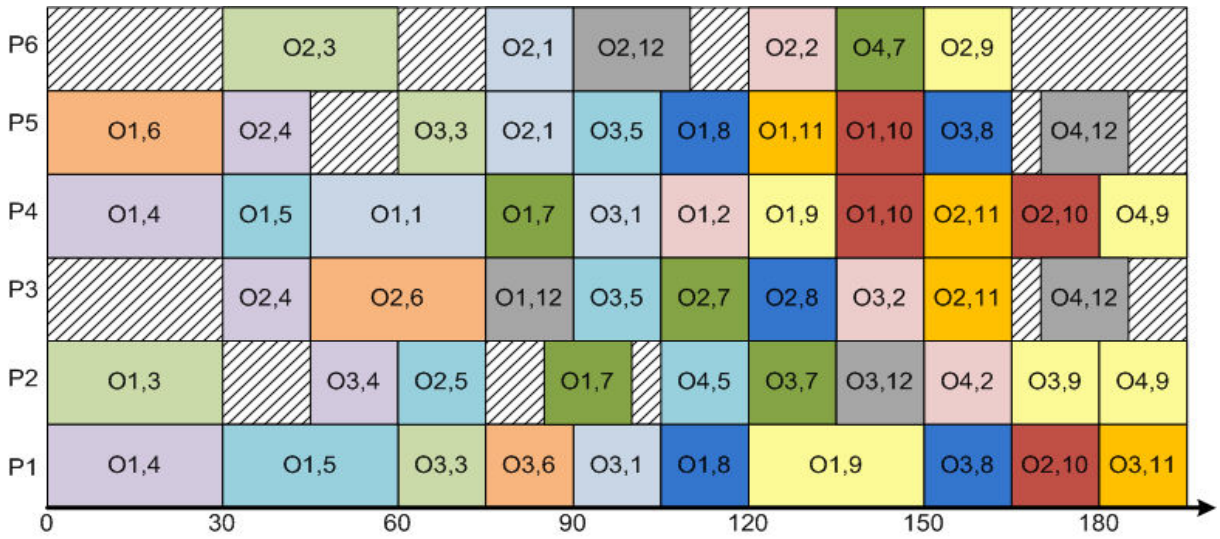

Figure IV-9 Représentation graphique du programme détaillé du personnel médical du SU

L'étape suivante consiste à lancer notre SADSU sur une durée d'une semaine afin de d'expérimenter le modèle de résolution dynamique proposé et d'en tirer des résultats.

		Médecin Urgentiste	Spécialiste	Radiologue	Biologiste	Infirmier(e)	Aide soignante
Nbre de patients entrés	776						
Nbre de patients traités	431	768	48	570	295	776	698
Nbre de patients en cours	345						
% occupation du personnel		98.25	98.6	19.98	80.65	100	99.25
% disponibilité du personnel		1.73	1.3	80.02	19.35	0	0.75

Tableau IV-10 Résultat de la simulation pour une durée de 10000 minutes (1 semaine)

Les premiers résultats retenus nous permettrons d'évaluer la performance de notre solution correspondant aux indicateurs suivants :

- nombre de patients arrivés.
- nombre de patients en cours de traitement.
- nombre de patients traités dans tout le service.
- nombre de patients traités par chaque membre du personnel médical du SU.
- taux d'occupation et de disponibilité au niveau du personnel médical du SU.
- nombre de patients en attente.

Ces indicateurs permettent d'évaluer la performance et donc de vérifier l'atteinte de l'objectif fixé au départ. Le tableau IV-10 ci-dessus présente les premiers résultats de simulation pour 1 semaine. Ces résultats montrent que l'infirmier(e), le médecin urgentiste et le médecin spécialiste sont les personnes les plus occupées.

Pour chacune des instances précédemment générées, nous considérons 25 scénarios partagés comme suit : (1) 10 scénarios dans lesquels un nouveau patient en urgence arrive au SU, (2) 10 scénarios dans lesquels l'état d'un patient se dégrade (traduit par le décroissement de la date limite d'intervention $dl_{i,j}$) et (3) 5 scénarios dans lesquels une opération de soin dépasse la durée opératoire estimée. Les paramètres que nous modifions par scénario sont donnés dans le tableau IV-11.

.

Type de scénario	Paramètres
Nouveau patient urgent arrivé	Date d'arrivée *rpj* Date limite d'intervention $dl_{i,j}$ Durée opératoire $d_{i,j,k}$
Evolution du degré de gravité du patient	Date limite d'intervention $dl_{i,j}$ Date de la perturbation t_n
Sous estimation d'une durée opératoire	Durée opératoire $d_{i,j,k}$ (suite à un retard R)

Tableau IV-11 Paramètres modifiés par type de scénario

Les indicateurs que nous étudions sur l'ensemble des scénarios sont les suivants : le taux de prise en charge des nouveaux Patients Urgents arrivées au SU (*P.U* (%)), le taux de prise en charge des Patients dont l'état s'est Dégradé (*P.D* (%)) et le taux des patients traitées dans le cas où une durée opératoire dépasse la durée estimée (*P.S* (%)).
Nous calculons aussi, le pourcentage des cas pour lesquels les situations d'exception sont traitées et résolues par la phase *Px* de notre méthode de résolution *OR-3P*. *P.U.Px (%)* dans le cas de l'arrivée d'un nouveau patient en urgence vitale, *P.D.Px (%)* dans le cas de dégradation d'un état d'un patient et *P.S.Px (%)* dans le cas où une opération de soin dépasse la durée opératoire estimée.

Arrivée d'un nouveau patient urgent

En analysant la figure IV-10, nous remarquons que dans la plupart des problèmes, les nouveaux patients arrivés sont insérées en réordonnançant, après la date rp_j, toutes les opérations de soin (P.U.P3(%) =60). Par l'insertion dans un ordonnancement déjà établi, on arrive à résoudre 32% des cas, contre uniquement 10% par la phase1 qui consiste à l'ordonnancement établi au départ.

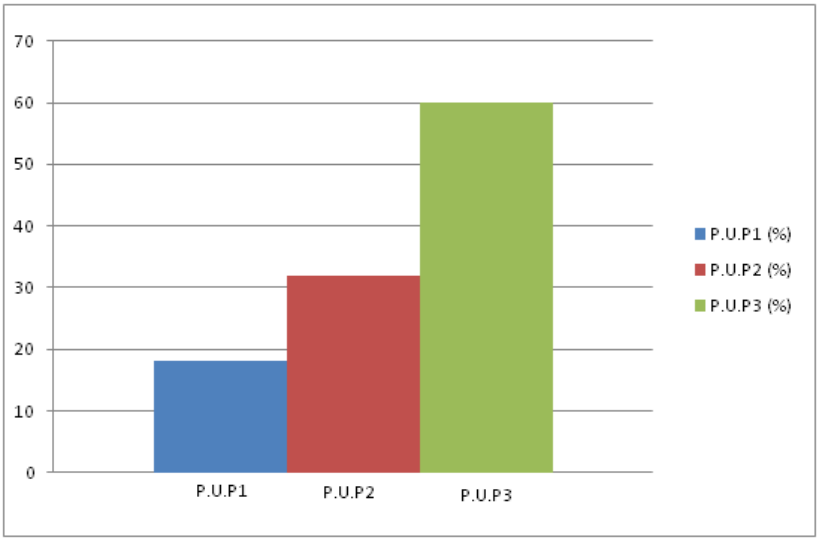

Figure IV-10 Pourcentage de nouveaux patients urgents traités par chaque phase de l'OR-3P

Dégradation de l'état du patient au sein du SU

En analysant la figure IV-11, nous remarquons que dans la plupart des problèmes, les patients sont traités en réordonnançant (P.D.P3(%) =71). La phase 1 (P_1) résout 1% des cas

puisque en général l'état du patient se dégrade au cours d'un ordonnancement et la phase 2 (P_2) arrive à insérer 28% des patients dont l'état s'est aggravé. Ce qui nous laisse poser la question sur l'efficacité de P_2 à pouvoir traiter les perturbations. En effet, à cause des dates limites d'interventions, le fait de décaler les dates de début des opérations de soin à droite l'algorithme shift right (P_2) élimine d'autres opérations du programme opératoire.

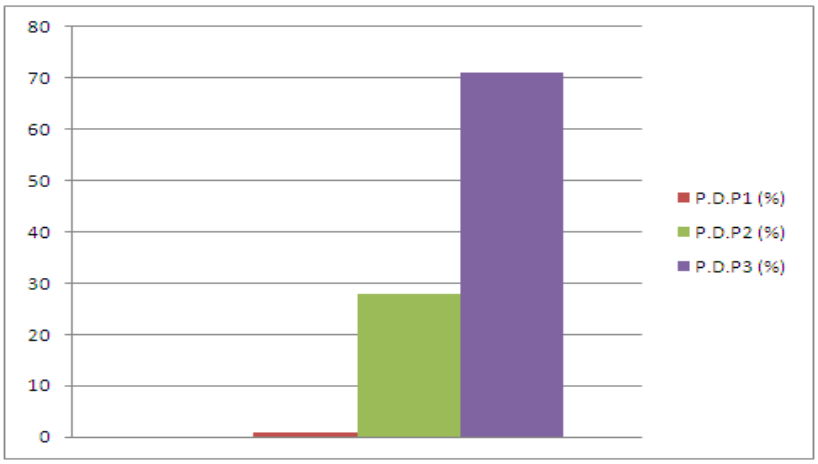

Figure IV-11 Pourcentage des patients dont l'état s'est dégradé traités par chaque phase de l'OR-3P

Sous estimation d'une durée opératoire

D'après la figure IV-12, nous remarquons que dans le cas où il y a sous estimation des durées opératoires des opérations de soin, ces dernières sont traitées par les phases 2 et 3 de l'OR-3P avec des pourcentages respectifs de 48 et 52%. Rappelons que dans ce cas, la phase 2 de notre méthode de résolution consiste à l'algorithme Shift-Right (§III.6.3.3)

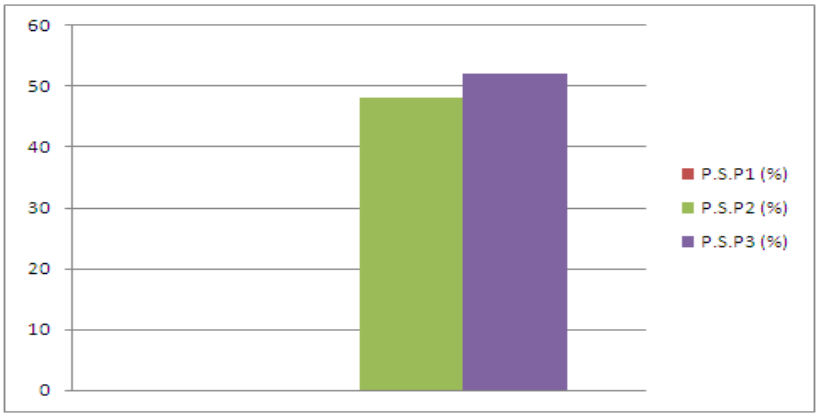

Figure IV-12 Pourcentage des opérations de soin sous estimées traitées par chaque phase de l'OR-3P

Nous remarquons que le pourcentage des cas pour lesquels les situations d'exception sont traitées et résolues par la phase *P3* de notre méthode de résolution *OR-3P* est important. Ce constat prouve l'importance de la dynamique de notre méthode résolution puisque la plupart des situations ont nécessité une certaine réactivité de l'outil d'où le besoin de réordonnancer afin de s'adapter au mieux à la réalité des événements au SU.

Dans ce qui suit, nous continuerons de travailler avec notre modèle de résolution dynamique puisqu'il reflète la réalité du passage de patient au niveau du service d'urgence. Après l'évaluation de la performance du service d'urgence étudié, tout en utilisant le modèle de simulation, nous passons à la validation des résultats de ce modèle par rapport à notre fonction objective qui tend à minimiser le temps d'attente des patients.

Lorsque l'on modélise les flux des patients dans le service étudié, les patients qui passent d'une tâche à une autre, (tâche administrative, la consultation du médecin généraliste, la radiologie, la consultation d'un médecin spécialiste) attendent et forment les files d'attente entre les différentes tâches. Si les délais d'attente dans les SU peuvent être très variables d'un établissement à l'autre (en fonction de la spécificité éventuelle du service, de l'organisation du service, des ressources humaines disponibles, du nombre de passages) [Southall et al., 99], la plupart des études publiées font état d'un délai d'attente médian avant la consultation médicale de 30 à 60 minutes; au total, près de 25 à 50% des patients attendent plus d'une heure avant d'être examinés par un médecin [Breslow et al., 97] [Lambe et al., 03]. L'étude récente menée auprès de huit établissements par la Mission nationale d'expertise et d'audit hospitaliers faisait état d'une durée d'attente d'environ une heure avant la consultation médicale [Le Spegagne, 07]. Ce délai peut même parfois atteindre plus de 2 heures pour 15% des patients.

Pour évaluer l'impact de l'utilisation de notre algorithme OR-3P, on a mesuré le temps d'attente de 300 patients au service d'urgences de CHU Sahloul pendant 3 jours.

Le temps de passage global (TPG)

En utilisant notre méthode de résolution OR-3P, la durée moyenne de séjour des patients au SU étudié a été inférieure à une heure chez (79 %) des patients alors qu'elle était pour (72 %) des patients et supérieure à deux heures chez (11%) contre (16%) sans l'OR-3P.

Au total, (98%) des patients ont passé une durée de séjour globale inférieure à 4 heures grâce à notre algorithme de résolution au lieu de (93%) (Figure IV-13).

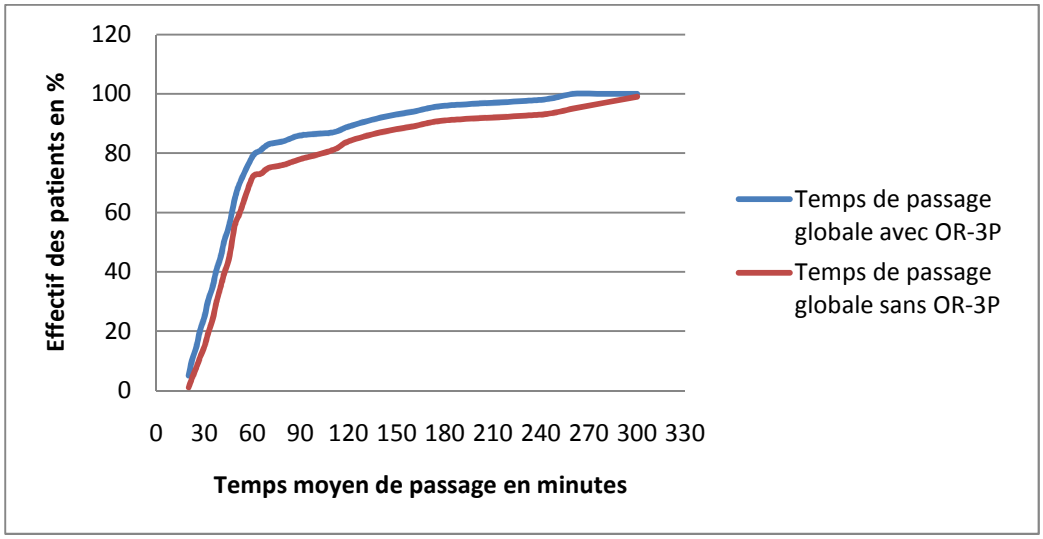

Figure IV-13 Distribution du temps moyen de passage avec l'algorithme OR-3P

Le TPG était en général plus court tôt le matin (avant 9h) et le soir (après 20h). Il était supérieur à une heure chez des patients inscrits dans la période de charge de travail (de 9h à 13h). Le temps moyen de séjour augmentait avec l'âge. Il était long pour les sujets âgés de plus de 60 ans (123 min) contre 39 minutes chez les patients d'âge inférieur à 15 ans. Selon le degré de gravité, et d'après la Classification Clinique des Malades des Urgences (CCMU) (§Tableau III-2), les patients de CCMU 3, 4 et 5 représentaient 82% de ceux qui avaient une durée de séjour global supérieure à quatre heures. Ceux des classes CCMU 1 et 2 représentaient 79% des patients qui ont passé moins d'une heure dans le service. Selon la demande d'avis spécialisé, 61 % de ceux qui ont passé plus de deux heures avaient eu au moins un avis spécialisé. La majorité des patients (86%) qui ont passé plus de 2 heures au SU avaient eu un ou plusieurs examens complémentaires radiologique ou biologique.

Plusieurs facteurs pouvaient ainsi être responsables de la variation du TPG :

- Le délai d'attente : un patient peut passer la majorité de son séjour aux SU en attendant de voir le médecin comme il peut être pris en charge immédiatement.
- Le degré de gravité (CCMU) : le temps que passe un patient au SU semble varier selon la gravité de son état. Les résultats ont montré qu'un état grave a tendance à avoir un TPG plus long qu'un état moins complexe. Et ceci du fait que les problèmes de santé graves exigent une prise en charge plus complexe comprenant des examens

complémentaires et des avis spécialisés avant d'être hospitalisés dans les services appropriés.

- L'âge : les TPG moyen les plus longs étaient constatés pour les patients âgés de plus de 60 ans il est le double que chez ceux de moins de 15 ans. Le degré de gravité des motifs de consultation qui variaient avec l'âge était à l'origine de cette différence. Les traumatismes étaient d'ailleurs les plus dominants chez les jeunes et ne nécessitant pas une prise en charge longue.
- Demande d'avis spécialisés : l'attente de l'arrivée d'un médecin, demandé pour avis spécialisé au SU semble augmenter le TPG. Le temps mis par ces médecins pour arriver au SU, diffère peu d'une spécialité à l'autre. Mais le temps que passe le patient après l'arrivée du médecin, demandé pour avis spécialisé, est généralement plus long. L'examen clinique est le plus souvent suivi de la réalisation de plusieurs examens complémentaires et/ou d'une décision d'hospitalisation et parfois de la demande d'un autre avis spécialisé ce qui peut augmenter de plus en plus la durée de séjour.
- Demande d'examens complémentaires radiologiques et biologiques : la demande des examens complémentaires est assez fréquente dans le service des urgences. Ces examens interviennent dans l'allongement de la durée de séjour des patients puisque l'obtention de leurs résultats nécessite un temps assez important.

Temps d'attente avant la prise en charge médicale :

C'est le temps que passe le patient depuis le moment de son arrivée (inscription administrative) jusqu'au début de sa consultation médicale. Il faut compter en moyenne une attente inférieure à 40 minutes chez 90 % des cas avec OR-3P contre 79% sans OR-3P et une attente supérieure à une heure chez seulement 3 % des cas alors qu'elle était de l'ordre de 7% (figure IV-14). Une attente supérieure à 30 minutes a été surtout observée durant la période de flux important de patients (de 7 h à 20 h). On n'a observé des délais d'attente supérieurs à une heure que dans les trois premières classes (CCMU 1, 2 et 3). Les deux autres (CCMU 4 et 5) étaient, chez 75% des cas, prises en charge dans un délai inférieur à 15 min. Le délai moyen d'attente a été de 17 min pour la classe CCMU 1 alors qu'il a été de 25 min sans OR-3P.

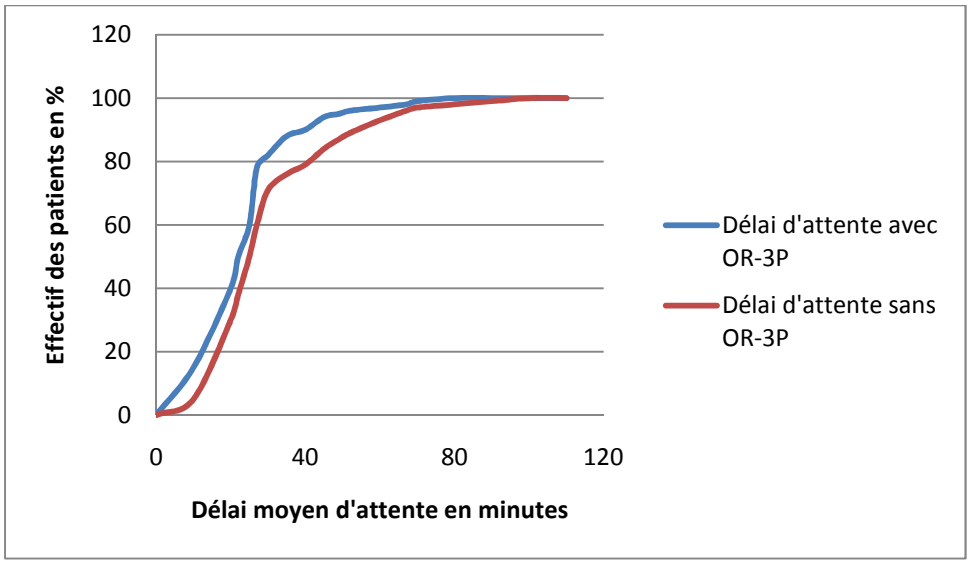

Figure IV-14 Distribution du délai moyen d'attente avec l'algorithme OR-3P

Les facteurs influençant la durée d'attente remarquée dans notre étude sont:

- Attente et heure d'arrivée : les patients ont attendu plus longtemps avant d'être évalués par un médecin aux heures de flux important de patients. On note aussi une fluctuation du délai moyen d'attente selon l'heure d'arrivée du patient.
- Attente et degré de gravité des patients : les patients se présentant au SU veulent être pris en charge immédiatement. Ceci pourrait être en rapport avec la souffrance et à l'inquiétude qu'ils peuvent ressentir envers leurs santés. Mais le SU accepte un flux important de malades de gravités différentes ce qui rend sa mission de donner la priorité à des patients consultants en même temps difficile.

Délai de prise en charge médicale :

La moyenne de la durée de prise en charge médicale globale a été inférieure à 60 min chez (85%) des cas contre 76% sans l'OR-3P. Elle a été supérieure à 120 min chez (5%) des cas avec OR-3P et chez (9%) des patients sans OR-3P (figure IV-15). Des durées de prise en charge supérieures à une heure ont été plus remarquées le matin et l'après-midi (de 9h à 20h). Plus le patient est jeune, plus le délai de sa prise en charge était court.

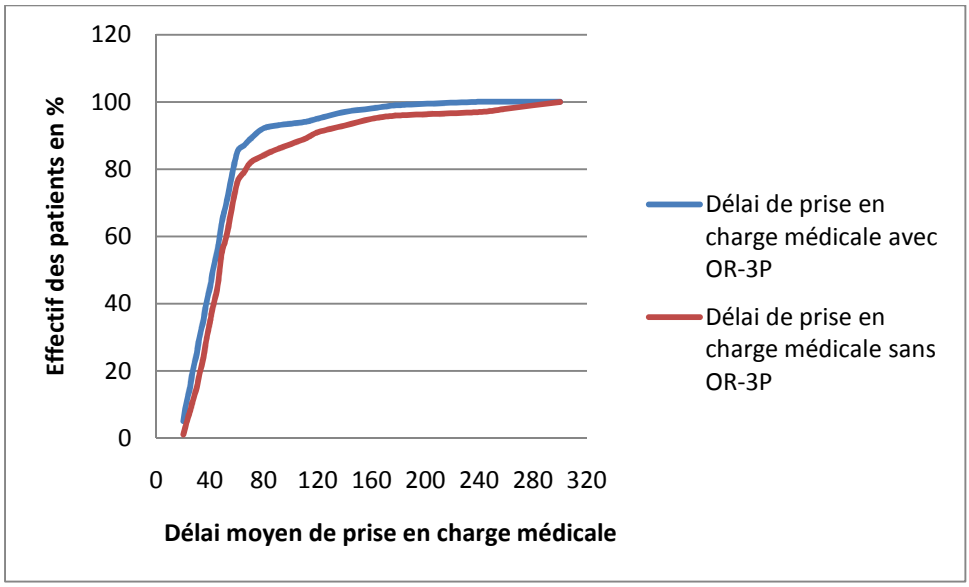

Figure IV-15 Distribution du délai moyen de prise en charge médicale avec l'algorithme OR-3P

IV.6.3 Synthèse

Notre simulation a été menée sur une période de 3 jours seulement et notre échantillon a concerné un nombre limité de patients ne soulignant pas toute la diversité des pathologies observées durant cette période. Nous avons également rencontré plusieurs difficultés lors du recueil des données.

Cette évaluation de l'application de l'approche réactive de l'OR-3P a révélé une réduction du temps moyen de passage global, du délai moyen d'attente et de prise en charge médicale. Le temps moyen de passage était d'une heure environ. Plus de la moitie des patients avaient passé moins d'une heure dans le service. Ce TPG est court en comparaison avec les durées observées. Le taux de patients qui ont passé moins de 4 heures dans le SU était de 97%. La mesure du délai d'attente a souvent été incluse dans l'étude de la satisfaction du patient. Il a été aussi l'un des importants critères d'évaluation qualitative du fonctionnement du SU. Notre système SADSU a permis d'avoir une bonne connaissance / gestion de l'information sur la disponibilité immédiate des moyens de productions surtout humaines. Pour un patient, ces ressources doivent se coordonner en mettant à disposition des différentes compétences, à importance inégale pour la survie, souvent dans une chronologie (traduite souvent en processus et ou protocoles). Cette coordination dépend beaucoup de leur disponibilité et de leur capacité à se rendre disponibles et à prioriser leurs interventions. Pour un service d'urgences, avoir une vue complète et précise de la disponibilité peut être vitale. Si les moyens matériels sont pour la plupart statiques (ou peu mobiles), les ressources humaines

sont mobiles, au moins physiquement. Cette mobilité est souvent fonction de la prise en charge des patients mais n'est pas toujours bien suivie. Notre système présente un moyen véritable pour suivre les ressources humaines dans leur mobilité au sein du SU et être plus conforme à la réalité afin d'aider l'utilisateur dans ses décisions. Il est évident que ce n'est pas toujours aisé d'identifier totalement le niveau de disponibilité des professionnels. Le temps étant important dans les services d'urgence, une mauvaise maîtrise de la disponibilité des professionnels peut générer une aggravation de l'état et entraîner des soins évitables. Une situation où des soins supplémentaires créeraient des coûts supplémentaires.

IV.6.4 Présentation graphique du SADSU

L'interface (figure IV-16) permet d'accéder aux fonctionnalités de notre système. C'est le moyen d'introduire au SADSU les données relatives à chaque patient. On peut lancer plusieurs interfaces à la fois pour plusieurs postes d'accueil d'un service d'urgence. Ces interfaces sont en relation avec les agents logiciels AA qui s'occupent d'enregistrer les patients présents à l'accueil et de créer leur dossier médical. Pour chaque patient, il faut saisir son identité (nom, prénom), ses données sociodémographiques (date de passage, date de naissance ou âge) et le motif de son recours aux urgences. Pour valider ses données, il faut appuyer sur le bouton *ok* afin de solliciter les différents agents du SADSU et générer le plan de traitement de chaque patient présent au SU.

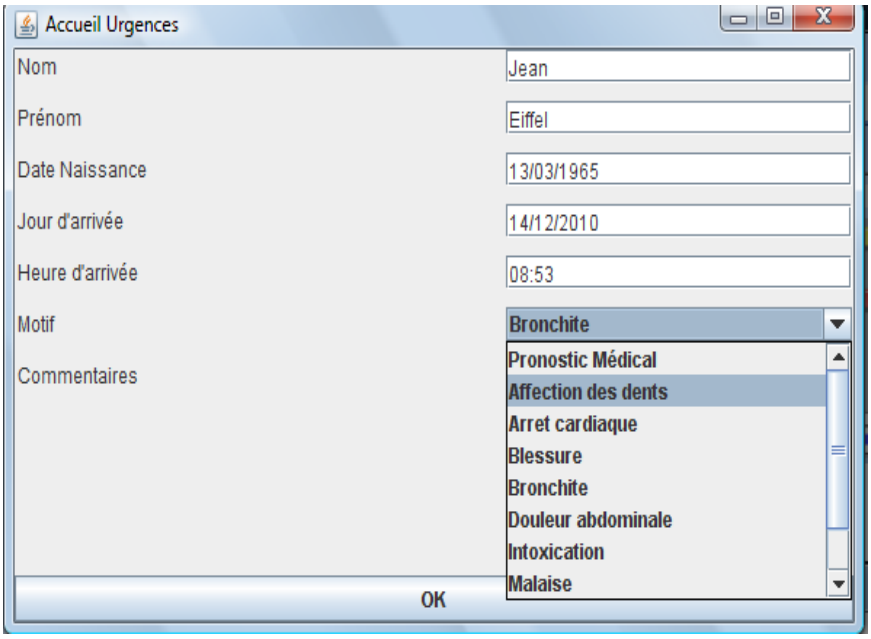

Figure IV-16 GUI du SADSU

Le détail de la prise en charge de soins ainsi que les actes médicaux accomplis par le personnel médical du SU seront générer dans le diagramme de Gantt de la figure IV-17.

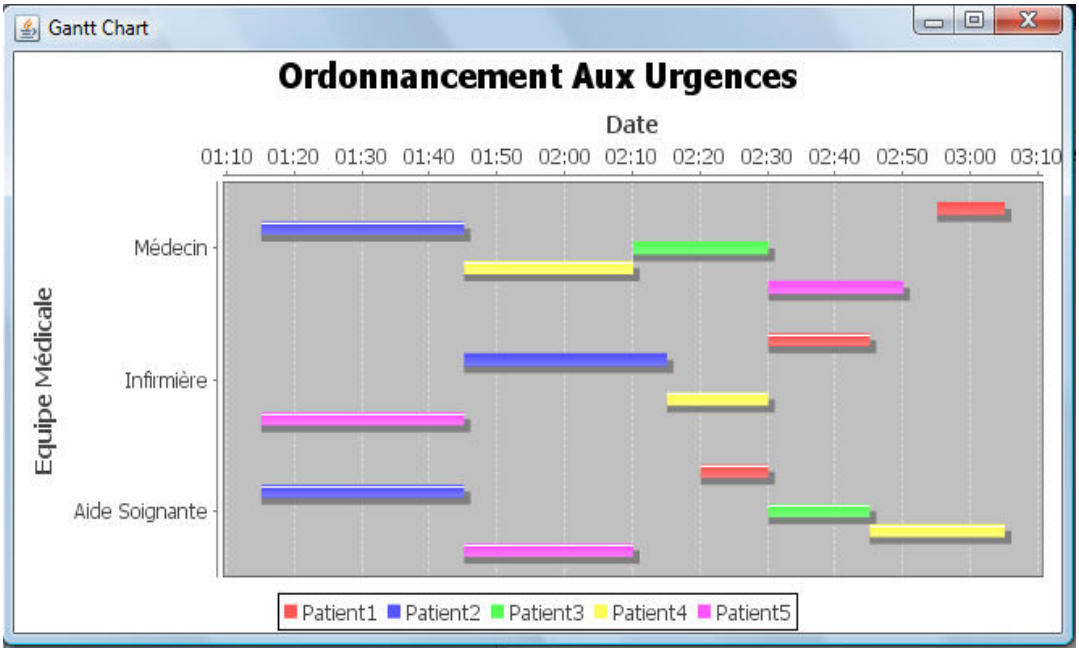

Figure IV-17 Diagramme de Gantt

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré le fonctionnement des approches d'optimisation adoptées dans le SADSU. Nous avons commencé par présenter la simulation et ses étapes de mises en œuvre pour évaluer la performance de notre système au SU. Les résultats et scénarios de simulation montrent la robustesse du système face aux aléas du service d'urgences. Ainsi, le SADSU permet d'aider les décideurs mais qui n'est pas forcément suivi. C'est pour cette raison qu'il doit s'adapter en temps réel et se réajuster à la réalité le plus finement possible afin de proposer des solutions cohérentes.

Conclusion générale

Dans le cadre de réformes actuelles du système de santé sur les filières d'urgences, les professionnels de santé doivent s'engager dans de nouvelles actions destinées à la modernisation de l'offre de soin. Les exigences de maîtriser les dépenses tout en garantissant une meilleure qualité des soins poussent à adopter de nouvelles approches permettant de résoudre les problématiques liés à l'organisation du processus de prise en charge des patients et au dimensionnement des moyens humains et matériels.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons aux solutions d'aide à la décision afin de faciliter le travail des décideurs au sein du SU. Notre solution visant la prise en charge rapide et efficace des patients se pose sur le paradigme Système Multi-Agent marié avec l'optimisation permettant ainsi l'amélioration de l'utilisation des ressources humaines grâce à la coopération du personnel, à la mise en place des protocoles médicaux et la génération dynamique et réactive des plans de traitement. On s'intéresse particulièrement à optimiser l'affectation du personnel médical en examinant les compétences les plus appropriées qui conviennent avec la spécification des tâches de soin. Les travaux de thèse sont réalisés en collaboration avec les structures d'urgences du Nord-Pas-de-Calais et du service d'urgences de l'hôpital Sahloul de Sousse en Tunisie. Ce qui nous a permis de révéler les problématiques de ces structures et d'élaborer une solution applicable à l'issue de problèmes concrets.

En se basant sur le processus de prise en charge des patients et les caractéristiques des SMA, un modèle à base de cinq agents a été présenté afin d'améliorer la qualité de prise en charge des patients et réduire les temps d'attente au SU même en cas de perturbation liée aux urgences vitales. Ce modèle nous permet non seulement d'avoir une certaine systématisation de plusieurs pratiques dans l'enchainement des étapes de soin mais aussi une meilleure coordination entre le personnel médical pour bien soigner et aller au plus vite.

Les résultats de simulation montrent que les temps de passage, les délais d'attente ainsi que les délais de prise en charge médicale sont sensiblement réduits par notre proposition. Ces délais sont traduisibles en coût et par conséquent une mise en place du système au sein des établissements partenaires semble intéressante.

Plusieurs perspectives sont d'ores et déjà positionnées dans notre planning de travail suivant les travaux de cette thèse. Parmi elles, l'enchainement du développement de l'outil pour améliorer la prise en charge des patients en concevant des interfaces conviviales et de qualité meilleure permettant une facilité d'utilisation et une acceptation du produit (ergonomie). Mais aussi il faut penser à l'intégration de l'accès à l'ensemble des sources d'informations. Il est évident qu'un accès insuffisant aux informations externes à l'outil entraîneront à tord le rejet d'une solution intéressante.

Une autre perspective concerne également à étendre nos résultats à d'autres secteurs que le service d'urgences grâce à la généricité de notre modèle ou encore proposer d'autres développements comme celui d'outils d'analyse de la composition de l'équipe médicale en fonction de la charge du travail.

En plus, afin d'optimiser l'ensemble du réseau de prise en charge (la régulation en amont des urgences et la recherche des lits en aval) on peut étudier l'interopérabilité de notre outil avec d'autres outils développés qui contribuent également à l'amélioration de la prise en charge des patients au SU.

Glossaire

AMUHF: Association des Médecins Urgentistes Hospitaliers de France.
ANAES : Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé
ARH : Agence Régionale d'Hospitalisation
CH : Centre Hospitalier
CHU : Centre Hospitalier Universitaire
CSMF : Confédération des Syndicats Médicaux Français
CSP : Code de la Santé Publique
DHOS : Direction d'Hospitalisation et de l'Organisation de Soins
DREES : Direction de la Recherche, de l'Evaluation, des Etudes et des Statistiques.
ETP : Équivalent Temps Plein
FAU : Forfait Annuel Urgences
GHM : Groupes Homogènes de Malades
GHS : Groupes Homogènes de Séjour
HAS : Haute Autorité de Santé
HCSP : Haut Conseil de la Santé Publique
HRP : Hôpitaux Regroupement partage et Pilotage
IADE : Infirmier Anesthésiste Diplômé d'Etat
IAO : Infirmier d'Accueil et d'Orientation
IDE : Infirmier Diplômé d'Etat
Insee : Institut national de la statistique et des études économiques
INVS : Institut National de Veille Sanitaire
MCO : Médecine Chirurgie Obstétrique
MEAH : Mission nationale l'expertise et d'audits hospitaliers
MMG : Maisons médicales de garde
MRS : Missions Régionales de Santé
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques
OQN : Objectif Quantifié National
PDS : Permanence Des Soins
PMSI : Programme de Médicalisation du Système d'Information
PMT : Plateau Médico-Technique
SAE : Statistique Annuelle des Etablissements
SAU : Service d'Accueil des Urgences
SAMU : Service d'Aide Médicale Urgente
SFMU : Société Française de Médecine d'Urgence
SIH : Système d'Information Hospitalier
SMUR : Service Mobile d'Urgence et de Réanimation
SROS : Schéma Régional d'Organisation des Soins
SSR : Soins de Suite et de Réadaptation
SUH : Syndicat des Urgences Hospitalières
T2A : Tarification à l'activité
UHCD : Unité d'Hospitalisation de Courte Durée
UMH : Unité Mobile Hospitalière
UPATOU : Unité de proximité d'accueil, de traitement et d'orientation des urgences
ZSTCD : Zone de surveillance de très courte durée

Bibliographie

[Adam, 00] E.Adam. *Modèle d'organisation multi-agent pour l'aide au travail coopératif dans les processus d'entreprise : application aux systèmes administratifs complexes*. Thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, septembre 2000.

[Aknine, 00] S.Aknine. *Modèles et méthodes de coordination dans les systèmes multiagents.* PhD thesis, Thèse Doctorat. Université Paris IX Dauphine, 2000.

[Aknine, 06] S.Aknine. *Contribution à l'étude des méthodes de coordination dans les systèmes multi-agents*, 2006.

[Alami et al., 95] R.Alami, F.Robert, F.Ingrand, and S. Suzuki. *Multi-Robot Cooperation through Incremental Plan-Merging.* In Proc. of the international Conference on Robotics and Automation, pages 2573–2579. IEEE Computer Society Press, 1995.

[Alvin et al., 05] P.Alvin et D.Marcelli. Livre édition Masson, *Médecine de l'adolescent*, *Urgences véritables, urgences ressenties*, 2005.

[ANAES,00] Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé. *Recommandations pour la pratique clinique*. Technical report , 2000.

[Austin, 62] J.L. Austin. *How to Do Things with Words*. Oxford, 1962.

[Axelrod, 97] R.Axelrod. *The complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration.* Princeton University Press, 1997.

[Balachandran et al., 06] B.M. Balachandran and M. Enkhsaikhan. *Development of a Multi-Agent System for Travel Industry Support*, Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce, no. 63–63, Novembre 2006.

[Bartelt, 02] A. Bartelt, W. Lamersdorf, T. O. Paulussen et A. Heinzl. *Agent oriented specification for patient-scheduling systems in hospitals.* Dagstuhl Article, 2002.

[Baubeau et al., 00] D. Baubeau, A. Deville, M. Joubert, C. Fivaz, I. Girard et S. Le Laidier. *Les passages aux urgences de 1990 à 1998 : une demande croissante de soins non programmés*. Études et Résultats n° 72, DREES, 2000.

[Baubeau et al., 02] D. Baubeau et E. Thomson. *Les plateaux techniques liés aux interventions sous anesthésie entre 1992et 2000*. Etudes et résultats, DREES, 189, Paris, 2002.

[Bauer et al., 04] B. Bauer and J. Mueller. *Methodologies and modeling language,* in Agent-Based Software Development. Londo: Artech House, pp. 77-131, 2004.

[Beliën et al.,08] J. Beliën and E.Demeulemeester. *A Branch and Price approach for integrating nurse and surgery scheduling*. European Journal of Operational Research. Vol. 189, pp. 652-668, 2008).

[Bellenguez-Morineau, 06] O. Bellenguez-Morineau. *Méthodes de résolution pour problème de gestion de projet multi-compétence*, PhD thesis, Université de Tours, 2006.

[Bennour et al., 03] M. Bennour, D. Crestani et F. Prunet. *Une approche de gestion des ressources humaines guidée par les compétences*, MOSIM, 2003.

[Bertrand, 06] X. Bertrand. Dossier de Presse, « *Urgences* », Ministère de la Santé et des Solidarités, 23 mai 2006.

[Bond et al., 88] A.H. Bond and L. Gasser. *Readings in Distributed Artificial Intelligence.* Morgan Kaufmann, 1988.

[Booth, 97] G. Booth. *Gecko: A continuous 2D world for ecological modeling.* Artificial Life, 3(3): 147-163, 1997.

[Boumane et al., 03] A. Boumane, A. Talbi, D. Bouami et C. Tahon. *Contribution méthodologique à la construction d'un référentiel de compétences en maintenance industrielle*, Colloque Francophone sur le thème : Performances et Nouvelles Technologies en Maintenance, 2003.

[Bousquet et al., 01] F. Bousquet et C. LE PAGE, *Systèmes multi-agents et écosystèmes*, dans J.P. Briot et Y. Demazeau, *Principes et architecture des systèmes multiagents*, Hermès, 2001.

[Braun, 05] F.Braun, revue ADSP n° 52, *Urgences et demandes de soins en urgence, quelle prise en charge ?*, Le Haut Conseil de la Santé Publique(HCSP), septembre 2005.

[Breslow et al., 97] R. Breslow, B. Klinger and R. Erickson. *Time study of psychiatric emergency service evaluations.* General Hospital Psychiatry ;19:1-4, 1997.

[Caillou et al., 01] P. Caillou, S. Aknine, and S. Pinson. *Méthode de formation et de restructuration dynamique de coalitions d'agents fondée sur l'optimum de Pareto.* In Proc. 9èmes Journées Francophones d'Intelligence Artificielles et Systèmes Multi-Agents (JFIAD), 2001.

[Cardon, 97] A. Cardon. *A multi-agent model for co-operative communications in crisis management system : the act of communication.* In the 7th European-Japanese Conference in Information Modelling and Knowledge bases, pages 111-123, Toulouse, 1997.

[Cardon, 98a] A. Cardon. *Les systèmes adaptatifs à architecture d'agents dynamiques : Une approche de la conscience artificielle.* LIP6, 1998.

[Cardon, 98b] A. Cardon. *Modélisation des systèmes adaptatifs par agents : vers une analyse-conception Orientée Agent.* LIP6, 1998.

[Cardon, 00] A. Cardon. *La conscience artificielle.* Edition Eyrolles, 2000.

[Cardon et al., 97a] A. Cardon and S. Durand. *A model of crisis management system including mental representations.* In proceedings of the AAAI Spring Symposium, 1997.

[Cardon et al., 97b] A. Cardon and F. Lesage. *An interpretation process on communication between actors in a distributed system for crisis management.* In Symposium of Informatic Economics, Kichiney, 1997.

[Cardon et al., 98] A. Cardon and F. Lesage. *Toword adaptative information systems: considering concern and intentionality.* In proceedings of KAW'98, 1998.

[Carrasco, 06] *L'activité des services d'urgence en 2004*, DREES et SAE 2004. Etudes et résultats n° 524, septembre 2006.

[Chaabane, 04] S. Chaabane. *Gestion prédictive des blocs opératoires*. Thèse de doctorat. INSA de Lyon, 2004.

[Chodosas, 02] M. Chodosas. *Etude de l'organisation des différents systèmes d'urgence dans cinq pays européens : la France, l'Allemagne, l'Espagne, l'Italie et le Portugal.* Thèse de doctorat en médecine, Université Paris VII, Faculté de Médecine Lariboisière-Saint-Louis, 2002.

[Claveranne et al., 00], J.P. Claveranne, M. Brémond et A. Teil . *Organisation, décision et financement du système de soins*. Actualité Dossier Santé Publique, 2000.

[Colombier, 07] G. Colombier. *La prise en charge des urgences médicales,* Assemblée Nationale, Rapport d'information déposé en application de l'article 145 du Règlement par la commission des affaires culturelles, familiales et sociale, enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale, le 7 février 2007.

[Combes et al., 04] C. Combes, A. Dussauchoy, S. Chaabane, N. Smolski, J. Viale et J. Souquet. *Démarche méthodologique d'analyse des données pour la planification des blocs opératoires : une application à un service d'endoscopie digestive.* In GISEH 2004, pages 124-133, Mons, Belgique, 2004.

[Coriat et al., 08] P.Coriat, F.Braun, J.P.Genet, P.Goldstein, A.Nazac, B.Pol et J.Remond. *Propositions sur la composition, les missions et le champ d'action du Conseil National de l'Urgence et de la Permanence des Soins*, Mai 2008.

[CSMF, 08] Confédération des Syndicats Médicaux Français. Actualité de 8 février 2008.

[Daknou et al., 11] A.Daknou, H.Zgaya, S.Hammadi, H.Hubert. *Reactive Coordination Method Base on Communicate agents at The Emergency Department in Hospitals*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A Special Issue: Health Care Management and Optimization, 2011, soumis.

[Daknou et al., 10] A.Daknou, H.Zgaya, S.Hammadi, H.Hubert. *A Dynamic Patient Scheduling at The Emergency Department in Hospitals*, IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM 2010) 18-20 February, 2010, Venice, Italy.

[Daknou et al., 09] A.Daknou, H.Zgaya, S.Hammadi, H.Hubert. *Agent-Based Architecture for the HealthCare of patients at The Emergency Department*, the 2nd IFAC Workshop on Dependable Control of Discrete Systems (DCDS '09).10-12 June 2009, Bari, Italy.

[Daknou et al., 09] A.Daknou, H.Zgaya, S.Hammadi, H.Hubert. *Assignment of Tasks to Multi Skills in Agent-Based Architecture at The Emergency Department*, the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM '09). pp1781-1786. 3-5 June 2009, Moscow, Russia.

[Daknou et al., 08a] A.Daknou, H.Zgaya, S.Hammadi, H.Hubert. *Agent based optimization*

and management of healthcare processes at the emergency department , International Journal of Mathematics and Computers in Simulation, Issue 3, Volume 2, ID number mcs-99. Décembre 2008. Lien: http://www.naun.org/journals/mcs/mcs-99.pdf

[Daknou et al., 08b] A.Daknou, H.Zgaya, S.Hammadi, H.Hubert. *Toward a Multi-Agent Model for the Care of Patients at The Emergency Department*, The 10th WSEAS International Conference on MATHEMATICAL METHODS, COMPUTATIONAL TECHNIQUES AND INTELLIGENT SYSTEMS (MAMECTIS '08). CD-Proceeding. 26-28 octobre 2008, Corfu, Greece.

[Daknou et al., 08c] A.Daknou, H.Zgaya, S.Hammadi, H.Hubert . *Vers un système orienté agent d'aide à la décision pour la prise en charge des patients au service des urgences*, Gestion et Ingénierie des SystèmEs Hospitaliers (GISEH 2008). 4-6 septembre 2008, Lausanne, Suisse.

[Daknou et al., 08d] A.Daknou, H.Zgaya, S.Hammadi, H.Hubert. *Vers un outil d'aide à l'ordonnancement des tâches à compétences multiples dans les services d'urgence*, Conférence Internationale Francophone d'Automatique (CIFA 2008), CD-Proceeding. 3-5 septembre 2008 Bucarest, Roumanie.

[Deangelis et al., 92] D. Deangelis and L. Gross. *Individual-Based Models and Approches in Ecology: Populations, Communities and Ecosystems.* Chapman et Hall, 1992.

[Deloach, 99] S.A. Deloach. *Multiagent Systems Engineering : A Methodology And Language for Designing Agent Systems*., 1999.

[Deloach, 05] S.A. DeLoach. *Engineering Organizationbased Multiagent Systems,* The 4th International Workshop on Software Engineering for Largescale multiagent Systems (SELMAS'05), vol. 3914, pp. 109–125, May 2005.

[Deloach, 06] S.A. DeLoach, "Engineering Organization-Based Multiagent Systems," in *Software Engineering for Multi-Agent Systems IV*.: Springer Berlin / Heidelberg, 2006, vol. 3914/2006, pp. 109-125, 2006.

[Deloach et al., 01] S.A. Deloach, M.F. Wood, and C.H. Sparkman, *Multiagent Systems Engineering,* International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, vol. 11, no. 3, pp. 231-258, 2001.

[Demazeau, 00] Y. Demazeau. *Multi-Agent Systemes : MAS," Journée Industrie-Recherche.* Les Systèmes multi-agents (SMA) et leurs applications, Novembre 2000.

[DHOS, 03] Annexe à la circulaire DHOS/O 1 n° 2003-195 du 16 avril 2003 relative à la prise en charge des urgences.

[DHOS, 06] Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins. *Plan blanc et gestion de crise*, Guide d'aide à l'élaboration des plans blancs élargis et des plans blancs des établissements de santé. Edition 2006 annexe à la circulaire n°DHOS/CGR/2006/401 du 14 septembre 2006.

[DHOS, 07a] CIRCULAIRE DHOS/O1/2007/65 du 13 février 2007 relative à la prise en charge des urgences.

[DHOS, 07b] Annexe à la circulaire N°DHOS/CGR/2007/130 du 26 mars 2007 relative à la diffusion du guide sur : *l'organisation des soins en pandémie grippale*, à l'élaboration de l'annexe biologique « pandémie grippale » des plans blancs des établissements de santé et à la préparation du dispositif ambulatoire, préhospitalier et médico-social de prise en charge dans le cadre du plan blanc élargi. 26 mars 2007.

[DHOS et al., 07] La circulaire N° DHOS/DSS/CNAMTS/O1/1B/2007/137, relative aux *maisons médicales de garde et au dispositif de permanence des soins en médecine ambulatoire*, Cahier des charges sur les Maisons médicales de garde, 23 mars 2007.

[DHOS et al., 08] Référentiel commun, *Organisation du secours à personne et de l'aide médicale urgente*, Comité quadripartie associant les représentants des structures de médecine d'urgence et des services d'incendie et de secours, la DDSC(Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins) et la DHOS(Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles), 25 juin 2008.

[Dorez, 02] D.Dorez. CHRA, Réanimation médicale, Classeur Hémovigilance, Procédure P version 01, 2002.

[Downing et al., 99] K. Downing and P. Zvirinsky. *The simulated evolution of biochemical guilds: Reconciling Gaia theory and natural selection.* Artificial Life, 5(4), 1999.

[Draeger, 92] M.Draeger. *An Emergency Department Simulation Model Used to Evaluate Alternative Nurse Staffing and Patient Population Scenarios*. Winter Simulation Conference Proceedings, ed. J. J. Swain, 1992.

[DREES, 00] Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques. *Les passages aux urgences de 1990 à 1998 : une demande croissante de soins non programmés*. Etudes et Résultats N°72, juillet 2000.

[DREES, 03] Les usagers des urgences : Premiers résultats d'une enquête nationale, Etudes et Résultats N212 , 2003.

[DREES, 04] Etudes et Résultats, *L'activité des services d'urgences en 2004*, DREES, n°524, septembre 2006.

[DREES, 07] Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques. *Les établissements de santé, Un panorama pour l'année 2007*. La documentation française, Édition 2007.

[DREES, 08] *Consommation de soins et de biens médicaux*. 2008 http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATFPS06302.

[Drogoul, 93] A. Drogoul. *De la simulation multi-agents à la résolution collective de problèmes : une étude de l'émergence de structure d'organisation dans les systèmes multi-agents.* Phd thesis. Université de Paris VI, 1993.

[Ernst et al., 04] A. T. Ernst, H. Jiang, M. Krishnamoorthy, B. Owens and D. Sier. *Staff scheduling and rostering : A review of applications, methods and models.* European Journal of Operational Research, 153(3) : 3_27, 2004.

[Farell et al., 98] W. Farell and B. Arthur. *How Hits Happen Forecasting Predictability in a*

Chaotic Marketplace, 1998.

[Ferber, 95] J. Ferber,J. *Les systèmes multi-agents.* InterEditions, Paris, 1995.

[Finin et al., 94] T. Finin, Y. Labrou and J. Mayfield, *KQML as an agent communication language*, Proceedings of the 3rd International Conference on Information and Knowledge Management, 1994.

[FIPA, 97] FIPA *Agent Communication Language*, Foundation for Intelligent Physical Agents, www.fipa.org/specs/fipa00018/, 1997.

[FIPA, 01] FIPA Interaction Protocol Library Specification. http://www.fipa.org/specs/fipa00025/XC00025E.pdf, 2001.

[FIPA, 02] The FIPA ACL Message Structure Specifications. http://www.fipa.org/specs/fipa00061/, 2002.

[Franchistéguy et al., 99] I. Franchistéguy, J.M. Larrasquet et S. Tazi, *La prise en charge des patients dans les établissements de santé : un exemple type de production de service complexe.* Actes du 3ème Congrès International de Génie Industriel, pp 216-271, Mai, Montréal, Canada, 1999.

[Gasser, 84] L.G. Gasser. *The Social Dynamics of Routine Computer Use in Complex Organizations (Work, Management, Sociology).* PhD thesis, 1984.

[Gayrard, 05] P.Gayrard. *Urgences et demandes de soins en urgence : quelle prise en charge?*, Revue Actualité et dossier en santé publique, n° 52, p. 13-68, septembre, 2005.

[Georgeff et al., 96] M. Georgeff, A. Rao and D. Kinny, *A methodology and modeling technique for systems of BDI agents,* Agents Breaking Away : Proceedings of the Seventh European Workshop on Modelling Autonmous Agents in a Multi-Agent World MAAMAW'96, 1996.

[Glaa et al., 06a] B. Glaa, C. Tahon, S. Hammadi et A. Olivedaem. *Gestion des infirmières /infirmiers diplômés d'Etat dans la structure d'urgence d'un Centre Hospitalier*. Conférence francophone en Gestion et Ingénierie des SystèmEs Hospitaliers : GISEH'06, Luxembourg, 14-16 Septembre 2006.

[Glaa et al., 06b] B. Glaa, S. Hammadi et C.Tahon. *Modélisation des filières de prise en charge des urgences dans le service d'urgences du centre hospitalier de Valencienne.* Workshop International : Logistique & Transport 2006 : LT'06, Hammamet, Tunisie, 30 avril-2 mai 2006.

[Glaa et al., 06c] B. Glaa, S. Hammadi et C.Tahon. *Modeling the emergency path handling And Emergency Department Simulation.* IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics : IEEE SMC'06, Taipei, Taiwan, 08-11 Octobre 2006.

[Grabot et al., 00] B. Grabot et A. Letouzey. *Short-term manpower management in manufacturing systems : new requirement and DSS prototyping*, Computers in Industry, 43 : 11_29, 2000.

[Grall, 07a] J.Y.GRALL, *Evaluation du Plan Urgences 2004-2008*, janvier 2007.

[Grall, 07b] J.Y.Grall. Conseiller Général des Etablissements de Santé. *Rapport Mission de médiation et propositions d'adaptation de la permanence des soins*, Juillet 2007.

[Greenwood et al., 03] S.Greenwood, J.L.Nealon and P.Marshall. *Agent-Based User Interface Adaptivity in a Medical Decision Support System*, in Applications of Software Agent Technology in the Health Care Domain, Whitestein Series in Software Agent Technologies, Birkhauser Verlag, Basel, pages 35-48, 2003.

[Gruat-La-Forme et al., 07] F.A.Gruat-La-Forme , V.Botta-Genoulaz et J.P.Campagne. *Modélisation d'un problème d'ordonnancement avec prise en compte des compétences*, Journal Européen des Systèmes Automatisés, 2007.

[Guinet et al., 03] A.Guinet, et S.Chaabane. *Une approche de type MRP2 pour la gestion des blocs*. Gestion et Ingénierie des SystEmes Hospitaliers GISEH'03, Luxembourg, 2003.

[HCC, 05] Health Council Canadian. *Rapport du sommet national sur les ressources humaines de la santé*. http://healthcouncilcanada.ca/fr/index.php, 2005.

[Hini et al., 04] E.Hini, A.M. Brocas et H. Wang. *Les établissements de santé. Un panorama pour l'année 2004*, DRESS, 2004.

[Heine et al., 2004] C.Heine, S. Kirn, and R.Herrler. *Agent-based Optimization and Management of Clinical Processes*, Proceedings of the 16th European Conference on Artifical Intelligence (ECAI'04)-The 2nd Workshop on Agents Applied in Health Care, 2004.

[Hugli et al., 06] O. W. Hugli, M. Potin, N. Schreyer et B. Yersin. *Engorgement des centres d'urgences : une raison légitime de refuser l'accès aux patients non urgents ?* Revue Médicale Suisse N° 75, article n° 31553, http://www.revmed.ch. Publiée le 09 Aout 2006.

[Huhns et al., 99] M.N. Huhns and L.M. Stephens. M*ultiagent Systems and Societies of Agents.* Pages 79–120, 1999.

[Iglesias et al., 96] C.A. Iglesias, M. Garijo, and J.C. Gonz. *A methodological proposal for multiagent systems development extending CommonKADS,* Proceedings of the 10th Banff Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop. Track Agent-Oriented Approaches To Knowledge Engineering, vol. 1, pp. 25–1/17, November 1996.

[Iqbal et al., 02] H.Z. Iqbal , A.S.S. Raza and C. Yu-N. *An Intelligent Agent-based Knowledge Broker for Enterprise-wide Healthcare Knowledge Procurement*, pages. 173, Proceedings of the 15th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems, 2002.

[Ivanov et al., 03] A. Ivanov, C. Varnier et N. Zerhouni. *Ordonnancement des activités de maintenance dans un contexte distribué*, Conférence Francophone de Modélisation et Simulation (MOSIM), 2003.

[Jacobson et al., 92] I. Jacobson, M. Christerson, P. Jonsson, and G. Overgaard. *Object-Oriented Software Engineering., ACM Press*, 1992.

[Jebali et al., 03a] A. Jebali, et P. Ladet . *Vers une affectation supervisée dans les systèmes de production de soins.* 1ère conférence francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH'03, pp. 257-266, Lyon, France, 2003.

[Jebali et al., 03b] A. Jebali, S. Hammami, P. Ladet et A. Hadj Alouane. *Une méthode pour la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire.* 1ère conférence francophone en gestion et ingénierie des systèmes hospitaliers : GISEH'03. Lyon, France, 2003.

[Jennings et al., 98] N. Jennings, K. Sycara and M. Wooldridge. *A roadmap of agent research and development.* Autonomous Agent and Multi-Agent Systems, 1 (5):7-38, 1998.

[Kearney, 04] A.T. Kearney. *Improving medicine supply chain,* 5M ATK1203765, 2004.

[Kharraja et al., 03] S.Kharraja, et E.Marcon. *Vers une Construction automatique du Plan Directeur d'Allocation des Plages Horaires.* 1ère Conférence Francophone en Gestion et Ingénierie des SystEmes Hospitaliers, GISEH'03, Lyon, France, 2003.

[Kohler et al., 96] T. Kohler and E. Carr. *Swarm-based modeling of prehistoric settlement systems in southwestern north America.* In Proceedings of Colloquium II, UISPP, 13th Congress September, volume 5 of Sydney University Archaeological Methods, I. Johnson and M. North. School of Archaeology, University of Sydney, Australia, 1996.

[Koning et al., 01] J.L. Koning, et S. Pesty, *Modèles de communication*, dans J.P. Briot et Y. Demazeau, *Principes et architecture des systèmes multi-agents*, Hermès, 2001.

[Kraus et al., 93] S. Kraus, M. Nirkhe, and K. Sycara. *Reaching Agreements through Argumentation : A Logical Model (preliminary report)*. In Proc. of the 12th International Workshop on Distributed Artificial Intelligence), pages 233–247, Hidden Valley, Pennsylvania, 1993.

[Kruchten, 00] P. Kruchten, *The Rational Unified Process: An Introduction, Second Edition, 2nd edition*.: Addison-Wesley Longman, 2000.

[Kumar et al., 98] A.Kumar, and R. Kapur. *Discrete Simulation Application - Scheduling Staff for the Emergency Room*. Winter Simulation Conference Proceedings, ed. E.A. MacNair, K.J. Musselman, and P. Heidelberger, 1112-1120, IEEE, Washington, DC, 1989.

[La Cour des Comptes, 06] *Les urgences médicales : constats et évolution récente*, Rapport de la Cour des Comptes, 2006.

[Lahlouhi, 01] A. Lahlouhi. *Méthodologie De Développement D'environnements de développement de SMA,* Techniques et sciences informatiques, vol. 1, 2001.

[Laichour, 02] H. Laichour. *Modélisation Multi-Agent et Aide à la Décision : Application à la régulation des correspondances dans les réseaux de transport urbains,* Université des sciences et technologies de Lille, Lille, Thèse de doctorat, 2002.

[Lambe et al., 03] S. Lambe, DL. Washington, A. Fink, M. Laouri, H. Liu, J. Scura Fosse. *Waiting times in California's emergency departments.* Ann Emerg Med;41:35-44, 2003.

[Le Quellec, 00] S. Le quellec. *L'histoire des urgences à Paris de 1770 à nos jours*. Thèse de doctorat en médecine, Université Paris 7- Denis Diderot, Faculté de Médecine Xavier Bichat, 2000.

[Lesage, 00] F. Lesage. *Interprétation adaptative du discours dans une situation multiparticipants : modélisation par agents.* PhD thesis. Université du Havre, 2000.

[Le Spegagne et al., 07] D. Le Spegagne, D.Talandier et M.Cauterman. Mission Nationale d'Expertise et d'Audit Hospitalier. *Réduire les temps d'attente et de passage aux urgences*. Dispositif de déploiement – Rapport d'étape, Janvier 2007.

[Lieberman et al., 02] H. Lieberman and C. Mason. *Intelligent agent software for medicine*, Stud Health Technol Inform'02, No. 80, pages 99-109, 2002.

[Luna et al., 00] F. Luna and B. Stefannson. *Economic Simulations in Swarm : Agent-Based Modelling and Object Oriented Programming,* volume 14 of Advances in Computational Economics. Kluwer Academic Publisher, 2000.

[Mabry et al, 2004]Susan L. Mabry, Caleb R. Hug, Russell C. Roundy. "Clinical Decision Support with IM-Agents and ERMA Multi-agents," cbms, page. 242, 17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'04), 2004.

[Mandiau et al. 02] R. Mandiau, E.G.L. Strugeon et A. Péninou. *Organisation et applications des SMA*. Lavoisier, 2002.

[Mannarini, 06] M. Mannarini. *L'organisation logistique hospitalière : entre différentiation des territoires et intégration des processus*, 2006, document disponible sur le site : http://www.univnancy2.fr/COLLOQUES/METAMORPHOSE_06/fichiers_PDF/MANNARINI.pdf.

[Marcon, 03] E. Marcon. *Date de programmation des interventions chirurgicales: Une approche qui améliore le remplissage des plages horaires.* 1ère conférence francophone en Gestion et Ingénierie des SystèmEs Hospitaliers : GISEH'03. Lyon, 2003.

[Marcon, 04] E. Marcon. *Dimensionnement des ressources des plateaux médico-techniques des établissements hospitaliers.* Journal Européen des Systèmes Automatisés RS-JESA, Logistique hospitalière 38, 6, 631-65, 2004.

[Mardegan, 05] P.Mardegan. *Urgences et demandes de soins en urgence, quelle prise en charge ?* Actualité et Dossier en Santé Publique(ADSP), Revue du haut comité de la santé publique, Septembre 2005.

[Mattei, 04] Le discours de Jean-François Mattei, Ministre de la santé, de la famille et des personnes handicapées.

[Mea, 01] Vincenzo Della Mea, "Agents acting and moving in healthcare scenario: a paradigm for telemedical collaboration", IEEE Transaction on Information Technology in Biomedicine. pages 10-13, 2001.

[MEAH, 05a] Mission nationale d'Expertise et d'Audit Hospitalier. *Décrire et Analyser un processus de prise en charge*. Guide pratique**,** 18 juillet 2005.

[MEAH, 05b] Mission nationale d'Expertise et d'Audit Hospitalier. Rapport de fin de mission. *Temps d'attente et de passage aux urgences*, mars 2005.

[MEAH, 05c] Mission Nationale d'Expertise et d'Audit Hospitaliers. Guide pratique : *Décrire et Analyser un processus de prise en charge*, 2005.

[MEAH, 06] Mission nationale d'Expertise et d'Audit Hospitaliers. *Dossiers thématiques :*

Urgence, http://www.meah.sante.gouv.fr/meah/ index. php?id=437, 18 mars 2006.

[Minvielle, 96] E. Minvielle. *L'organisation du travail à l'hôpital, Gérer la singularité à grande échelle.* Revue française de gestion, N 109, juin-juillet-août, 114-124, 1996.

[Mission T2A ,07] Mission T2A. La tarification des établissements de santé. 2007. www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/t2a/pedagogie/documents/rappel_enjeux_mai07.pdf.

[Molinie, 05] E. Molinie. *L'hôpital public en France : Bilan et perspectives*. Notes d'Iéna, Informations du conseil économique et social, N° 208, 29 juin 2005.

[Morhain, 97] S. Morhain, Association Biterroise d'Entraide et de Solidarité, « *Pour un temps de répit dans l'urgence sociale* », Dossier : Accompagner les exclus, Le journal des psychologues, Avril 1997.

[Nealon et al.,02] J.Nealon and A,Moreno. *The application of agent technology to health care*, *Proceedings of the Workshop AgentCities*: Research in Large-scale Open Agent Environments, in the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems AAMAS '02, pages 169-73, Bologna, Italy, 2002.

[Nealon et al.,03] J.Nealon and A,Moreno. *Agent-Based Applications in Health Care in Applications of Software Agent Technology in the Health Care Domain* , Whitestein Series in Software Agent Technologies, Birkhauser Verlag, Basel, pages 3-18, 2003.

[Nguyen , 06] M.H. Nguyen, *Génie logiciel orienté agent*, L'INSTITUT DE LA FRANCOPHONIE POUR L'INFORMATIQUE, TRAVAIL D'INTÉRÊT PERSONNEL ENCADRÉ (TIPE) 2006.

[OCDE, 07] Statistiques et Indicateurs pour 30 pays, www.oecd.org/sante/ecosante, ISBN 978-92-64-00790-1, 2007.

[Or et al., 09] Z. Or et T. Renaud. *Principes et enjeux de la tarification à l'activité à l'hôpital (T2A).* Enseignements de la théorie économique et des expériences étrangères, in Institut de Recherche et de Documentation en Economie de la Santé IRDES. 2009.

[ORS Guyane, 02] Observatoire Régional de la Santé de Guyane. *L'hypertension artérielle en Guyane*. Bulletin de santé N° 4/ Décembre 2002, 8 pages.

[Pablo, 09] D.A.L. Pablo. On scheduling models : An overview . In proceedings of the International Conference On Computers & Industrial Engineering, pp.153-158, 2009.

[Padgham et al., 03] L. Padgham and M. Winikoff. Prometheus: A Methodology for Developing Intelligent *Agents,*in Agent-Oriented Software Engineering III.: Springer Berlin / Heidelberg, 2003, vol. 2585/2003, pp. 174-185, 2003.

[Parashkevov, 94] A. Parashkevov. *Distributed real-time computer systems*, Master's thesis, Department of Computer Science, University of Adelaide, Australia, 1994.

[Paulussen et al., 03] T. O. Paulussen, N. R. Jennings, K. S. Decker et A. Heinzl. *Distributed patient scheduling in hospitals.* Dans International Joint Conference on Artificial Intelligence, Acapulco, Mexico, 2003.

[Pham, 02] M.C. Pham. *La prise en charge du patient à l'hôpital : mieux gérer la complexité de la coordination des acteurs.* Mémoire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique de Renne, 2002.

[Preist et al., 01] C. Preist, A. Byde, C. Bartolini, and G. Piccinelli. *Towards Agent-based Service Composition through Negotiation in Multiple Auctions*. Technical Report hpl-2001-71, Hewlett Packard, 2001.

[Prietula et al., 98] M. Prietula, K. Carley and L. Gasser. *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups.* The MIT Press Book, 1998.

[Punnakitikashem et al., 06] P.Punnakitikashem, J.Rosenberger, M.D.Behan, B., R. L., Baker, K.Goss. *An Optimization-Based Prototype for Nurse Assignment,* APIEMS Conference Proceedings, Bangkok, Thailand, 2006.

[Rao et al., 95] A. Rao and M.Georgeff. *BDI agents : from theory to practice*. Technical Report 56, Australian Artificial Intelligence Institute, 1995.

[Ramamritham et al., 94] K. Ramamritham et J. A. Stankovic. *Scheduling algorithms and operating systems support for real-time systems*, Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1994.

[Reix, 02] A. Reix. *Etude de l'organisation des différents systèmes d'urgence dans six pays européens : La France, Le Royaume uni, La Belgique, La suède, La Finlande et La Norvège.* Thèse de doctorat en médecine, Université Rêne Descartes, Faculté de Médecine Cochin Port Royal, 2002.

[Riano et al., 02] D. Riano, S. Prado, A. Pascual and S. Martin. *A Multi-Agent System to Support Palliative Care Units*. Proceedings of the 15th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS 2002), 2002.

[Ricordel, 01] P.M. Ricordel. *Programmation orientée multiagent : Développement de systems multi-agents Voyelles.* Institut National Polytechniques de Grenoble, Thèse de doctorat 2001.

[Rubinstein, 82] A. Rubinstein. *Perfect Equilibrium in a Bargaining Model.* Econometrica, 50(1) :97–109, 1982.

[Sabas et al.,01] A. Sabas, S. Delisle, and M. Badri, *Vers une unification des méthodologies de développement des systèmes multiagents*, Actes des Journées francophones pour l'intelligence artificielle distribuée et les systèmes multi-agents, pp. 327-330, 2001.

[Sabas et al., 02a] A. Sabas, M. Badri, and S. Delisle, A *Multidimentional Framework for the Evaluation of Multiagent System Methodologies*, 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI-2002), vol. I, pp. 211-216, 2002.

[Sabas et al., 02b] A. Sabas, S. Delisle, and M. Badri. *A Comparative Analysis of Multiagent System Development Methodologies: Towards a Unified Approach*, Third International Symposium From Agent Theory to Agent Implementation (AT2AI-3), Sixteenth European Meeting on Cybernetics and Systems Research, vol. II, pp. 599-604, 2002.

[Schetgen, 04] M. Schetgen. *Le généraliste face aux services d'urgence hospitaliers.* Revue

hospitalière, Numéro 02 - Volume 2 Avril-Mai-Juin 2004.

[Schreiber et al., 94] A. Schreiber, B. J. Wielinga, J. M. Akkermans, and W. Van de Velde. *CommonKADS : A comprehensive Methodology for KBS Development,* IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications, vol. 9, no. 6, pp. 28-37, 1994.

[Searle et al., 85] J.R. Searle and D. Vanderveken. *Foundations of illocutionary logic*. Cambridge University Press, 1985.

[SFAR, 04] Société Française d'Anesthésie et de Réanimation. Conférence d'experts 2004. *Recommandations pour l'organisation de la prise en charge des urgences vitales intra-hospitalières*, 2004.

[SFAR et al., 04] Société Française d'Anesthésie et de Réanimation, Samu de France, Société française de cardiologie, Société francophone de médecine d'urgence et Société de réanimation de langue française. *Recommandations pour l'organisation de la prise en charge des urgences vitales intrahospitalières.* Conférence d'experts, 2004.

[SFAR et al., 06] Société Française d'Anesthésie et de Réanimation, Société de réanimation de langue française, Conseil français de réanimation cardio-pulmonaire (CFRC), Samu de France, Société française de médecine d'urgence (SFMU), Croix Rouge française et Société française de cardiologie (SFC). *Recommandations formalisées d'experts : Prise en charge de l'arrêt cardiaque.* Septembre 2006.

[SFMU, 01] Société Francophone de Médecine d'Urgence. *Critères d'évaluation des services d'urgences*, Mars, 2001.
http://www.sfmu.org/documents/ressources/referentiels/ref_mars2001.pdf

[SFMU, 03a] Société Francophone de Médecine d'Urgence. *La Charte de la Médecine d'Urgence*, 2003. http://www.sfmu.org

[SFMU, 03b] Société Française de Médecine d'Urgence. Aforcump, F. Ducrocq, S.Molenda, A.Mercuel, N.Borgne, P.Goldstein. Conférences infirmiers. *Les cellules d'urgence médico-psychologique en France : de la conceptualisation au rôle infirmier*, 2003.

[SFMU, 04a] Société Française de Médecine d'Urgence. *Architecture des services d'urgence*. Recommandations de la Société Francophone de Médecine d'Urgence, 2004.

[SFMU, 04b] Société française de Médecine d'Urgences. Référentiel SFMU: *Infirmière Organisateur d'Accueil*, 2004.

[SFMU, 04c] Société Française de Médecine d'Urgence. *Coordination en aval des services d'urgences,* conférences infirmiers, 2004.

[SFMU, 05a] Société Francophone de Médecine d'Urgence. *Cahier des charges national pour l'informatisation des Services d'Urgence*, 10 juin 2005.

[SFMU, 05b] Société Française de Médecine d'Urgence. *L'organisation de l'aval des urgences : Etat des lieux et propositions*, 2005.

[SFMU, 08a] Société Française de Médecine d'Urgence Référentiel. *Compétences Infirmier(e) en médecine d'urgence*, juin 2008.

[SFMU, 08b] Société Française de Médecine d'Urgence .*Les français et l'accès aux soins urgents non programmés*. 2ème Congrès de la SFMU, Paris, juin 2008.

[Smith, 81] R.G. Smith. *The Contract Net Protocol : High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver.* IEEE Transactions on Computers, C-29(12) :1104–1113, 1981.

[Southall et al., 99] AC. Southall, VV. Harris. *Patient ED turnaround times: a comparative review.* Am J Emerg Med;17:151-3, 1999.

[Tchommo et al., 03] J. L. Tchommo, P. Baptiste et F. Soumis. *Etude bibliographique de l'ordonnancement simultané des moyens de production et des ressources humaines.* Proceedings of the fifth French-Quebec International Congress of Industrial Engineering, Quebec, Canada, 2003.

[Tian and Tianfield, 2003] Tian, Jiang and Tianfield , Huaglory, "A Multi-agent Approach to the Design of an E-medicine System", MATES 2003, LNAI 2831, pages 85–94, Springer-Verlag Berlin Heidelberg ,2003.

[Tlahig, 09] H.Tlahig. *Vers un outil d'aide à la décision pour le choix entre internalisation/externalisation ou mutualisation des activités logistiques au sein d'un établissement de santé : cas du service de stérilisation,* thèse de doctorat, Institut Polytechnique de Grenoble, 2009.

[Trilling, 06] L. Trilling. *Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier,* thèse de doctorat, INSA Lyon, 2006.

[Trilling et al., 05] L. Trilling et A. Guinet. *Aide à la décision pour la gestion quantitative des ressources humaines : comment lever la contrainte financière hospitalière ?* Conférence de Génie Industriel (GI 2005), Besonçon, France, 2005.

[Vauvert et al., 02] G. Vauvert et A. El Fallah-Seghrouchni. *Formal Specification of Opinions Applied to the Consensus Problem.* In Proc. of the 8th Iberoamerican Conference on Artificial Intelligence. (IBERAMIA'02), 2002.

[Vassy, 04] C.Vassy. *L'organisation des services d'urgence : entre le social et le sanitaire*, Mouvements, 32, 67-74, 2004.

[Venkataraman et al., 96] R. Venkataraman et M.J. Brusco. *An integrated Analysis of Nurse and Scheduling Policies*. OMEGA International Journal of Management Science, Vol. 24, pp. 57-71, 1996.

[Vigneron, 00] E. Vigneron. *Santé et territoire,* la documentation Française, Paris, 2000.

[Weiss, 01]G. Weiss. *Agent orientation in software engineering,* The Knowledge Engineering Review, vol. 16, no. 4, pp. 349 - 373, 2001.

[Wooldridge et al., 95] M. Wooldridge and N.R. Jennings. *Intelligent agents: Theory and practice.* The Knowledge Engineering Review, 10(2):115-152, 1995.

[Wooldridge et al., 00] M. Wooldridge, N.R. Jennings, and D. Kinny. *The Gaia Methodology For Agent-Oriented Analysis and Design.* Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent

Systems, vol. 3 (3), pp. 285-312, 2000.

[Zachewitz, 04] L.Zachewitz. *A multi-agent system for Establishing electronics Healthcare record*, ECAI 2004 16th European Conference on Artificial Intelligence - Workshop 7: Agents Applied in Health Care , pages. 31-37, August 2004.

[Zambonelli et al., 03] F. Zambonelli, N.R. Jennings, and M.J. Wooldridge. *Developing Multiagent Systems: the Gaia Methodology*, ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, vol. 12, no. 3, July 2003.

[Zeghal et al., 01] F. Zeghal et M. Minoux. *Modélisation et résolution d'un problème d'affectation d'équipages en transport aérien*, MOSIM, 2001.

[Zgaya, 07] H. Zgaya, *Conception et optimisation distribuée d'un système d'information d'aide à la mobilité urbaine: Une approche multi-agent pour la recherche et la composition des services liés à la mobilité*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lille, 2007.

[Zgaya et al., 07] H. Zgaya et S.Hammadi. *Multi-Agent Information System Using Mobile Agent Negotiation Based on a Flexible Transport Ontology*. In Proceedings of the 2007 International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'2007), Honolulu, Hawai'i, May14-18, 2007.

[Zlotkin et al., 90] G. Zlotkin and J.S. Rosenschein. *Negotiation and Conflict Resolution in Non-Cooperative Domains.* In Proc. of the AAAI'90, pages 100–105, Boston, MA, 1990.

Annexe1 Grille de visite aux Urgences dans le cadre du Projet ARCIR (2007-2008)

Nom et prénom du visiteur : …….

Date de la visite :……

Site : ……..

Tranche horaire[24] : ……..

I- Accessibilité des urgences

L'hôpital est facilement accessible par le réseau routier

L'entrée des urgences est signalée aux abords et dans l'enceinte de l'établissement

Le fléchage du circuit amenant au service des urgences est présent dès l'entrée de l'hôpital et clairement visible.

L'accès aux urgences est proche de l'entrée de l'hôpital.

La signalisation des urgences est lumineuse la nuit.

[24] Indiquer s'il s'agit d'un Week-end ou d'un jour de fête

II- Locaux d'extérieur

Une zone de Parking est accessible aux visiteurs

Les conditions d'accès et de stationnement de la police sont prédéterminées

L'entrée du service d'accueil des urgences est un des accès principaux de l'hôpital

Une large zone de stationnement « de dégagement » et de manœuvre réservée au stationnement des véhicules de secours

La zone de déchargement des patients ("sas")

Séparation entre le circuit d'arrivée des urgences couchées et celui des urgences debout

Les accès des véhicules et des piétons sont distincts. Le circuit est de taille suffisante pour permettre le passage d'un fauteuil roulant ou d'un brancard avec un accompagnant de chaque côté

II- Locaux d'intérieur :

Le point d'accueil avec un poste de travail où se tient l'infirmière d'accueil et d'orientation

Séparation entre le circuit d'arrivée des urgences couchées et celui des urgences debout.

Superficie des salles d'attente du service des urgences

La salle d'attente de patients (urgences debout) (superficie, ambiance…)

Une salle d'attente pour les accompagnants avec cabines téléphoniques publiques, distributeurs de boissons / alimentation disponible dans l'hôpital, télévision,

Des sanitaires.

Les locaux sont maintenus propres 24h/24

Les locaux sont soigneusement insonorisés.

IV- L'accueil :

Taux d'entré (estimé) des urgences par unité temporelle (heurs, journée…) ➢ Urgences debout (âges, sexe, profil social…) ➢ Urgences couchées

Les malades graves sont annoncés avant leur arrivée

A l'arrivée, chaque patient est correctement identifié et un dossier est créé

Il existe un registre chronologique des passages

L'organisation de l'accueil permet l'enregistrement administratif 24h/24 à l'arrivée

Tous les patients qui se présentent aux urgences sont enregistrés par le personnel d'accueil

la prise en charge des patients se fait par pathologie ou par hiérarchie des besoins.

L'infirmière d'accueil détermine l'orientation du patient dans les filières de soins en fonction des signes de gravité et de la pathologie

Le grade ou la fonction de tous les professionnels est identifié par un badge lisible/disponibilité du personnel soignant

Dès l'enregistrement du malade, il est possible de le situer, pendant son séjour aux urgences à partir de tout point du service

Il est possible de renseigner les malades et leur famille sur le plan administratif et social.

Les délais d'attente avant examen médical, examen complémentaire et/ou mutation

La décision de non examen d'un patient s'étant présenté aux urgences est prise par un médecin.

Les alternatives en cas de difficultés d'admission de patients graves

V- Locaux de soins

L'accès et l'organisation des locaux d'examens et de soins sont différenciés selon la nature des soins et l'importance de leur fréquentation

Cette zone comprend une salle de déchoquage pour au moins deux patients, fonctionnelle 24 h/24, pour adultes et enfants

Les salles de soins équipées de fluides médicaux et d'une paillasse de soins équipée d'un point d'eau.

Il existe une salle de plâtre équipée de fluides médicaux.

Il existe une salle de suture (et parage) *(il ne s'agit pas d'un bloc opératoire).*

Des salles de soins spécifiques sont réservées pour la pédiatrie

Selon la taille du service, le secteur psychiatrie fait l'objet ou non d'une entité géographique distincte, en tous cas, séparé des salles de soins

Une salle de radiologie conventionnelle est prévue dans cette zone ou à proximité immédiate

Une salle d'échographie est prévue dans cette zone (SAU) ou à proximité immédiate

Il existe une salle de bains, de décontamination et de dégravillonnage.

Il existe une zone de travail médical.

IV- Faits marquants

Annexe 2 Service des urgences de l'hôpital Sahloul Sousse -Tunisie

La santé constitue la principale priorité du Gouvernement Tunisien. En effet, le total des dépenses de santé en % du PIB au cours des dernières années évolue à coté des indicateurs de santé qui ont enregistré des améliorations dues à l'évolution technologique, au progrès de la médecine et surtout aux efforts déployés par le pays dans ce domaine. En effet, le total des dépenses de santé en % du PIB est passé de 5.6 en 2000 à 6.2 en 2004. Pour ces deux mêmes années, l'espérance de vie à la naissance est passée de 67.9 ans à 73.4 ans. En plus, le nombre d'habitants pour un médecin est passé de 1152 en 2002 à 994.3 en 2006.

Sahloul est un Etablissement Public de Santé créé en 1991. L'activité du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) Sahloul réunit à la fois des services Chirurgicaux tels que : la Chirurgie orthopédique, la Chirurgie générale, l'Urologie, la Chirurgie maxillo-faciale, la Neurochirurgie, la Réanimation Anesthésie, la Chirurgie cardiovasculaire et thoracique et la Chirurgie des brulures graves, des services médicaux tels que : la Pédiatrie, la Cardiologie, la Gastroentérologie, la Neurologie, la Médecine interne et la Néphrologie, le service des urgences et la rééducation. En plus de ces services cliniques, le CHU Sahloul dispose des services médico-techniques : la Radiologie, la Médecine Nucléaire, la Biochimie, la Microbiologie, l'Hématologie et le service des Explorations Fonctionnelles du système nerveux.

Le service des urgences de l'hôpital Salhoul est spécialisé en urgence orthopédique mais accueille aussi tous les autres cas médicaux. Il présente d'ailleurs des super staffs sur l'ostéomyélite, l'arthrite, la colonne cervicale, les plaies de la main etc. Le principe des urgences est le même qu'en Belgique. Des patients qui arrivent sont reçus dans des boxes. Puis ils sont examinés par le médecin urgentiste afin de leur prescrire les traitements. Il y a plus ou moins 50 % de cas orthopédiques (fracture, entorse, polytraumatisme...) et 50 % de cas médicaux (colique néphrétique, bronchite, pneumonie, abdomen aiguë, suspicion d'infarctus...).

Annexe 3 Données Simulation

$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)	$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)
O1,1	C_1 ,C_4	30	210	0	O1,14	C_4	10	1000	85
O2,1	C_3 ,C_5	20	510	0	O2,14	C_1	20	1002	85
O3,1	C_2	30	670	0	O3,14	C_3 ,C_5	30	1010	85
O1,2	C_1 ,C_5	15	180	15	O4,14	C_2	10	1080	85
O2,2	C_3 ,C_4	30	320	15	O1,15	C_4	20	900	90
O3,2	C_2	20	410	15	O2,15	C_5	30	930	90
O1,3	C_2 ,C_4	40	480	25	O3,15	C_1	10	980	90
O2,3	C_3 ,C_6	30	620	25	O1,16	C_1	20	1000	90
O1,4	C_1 ,C_4	15	300	30	O2,16	C_4 ,C_5	30	1030	90
O2,4	C_2	20	430	30	O1,17	C_3	10	1080	100
O3,4	C_1 ,C_3	40	520	30	O2,17	C_1	20	1090	100
O1,5	C_1 ,C_4	15	270	30	O3,17	C_1 ,C_4	30	1030	100
O2,5	C_3 ,C_5	40	350	30	O1,18	C_1	10	1100	110
O3,5	C_6	20	410	30	O2,18	C_4	20	1100	110
O4,5	C_1 ,C_4	15	430	30	O3,18	C_2 ,C_5	30	1100	110
O1,6	C_3	20	750	40	O1,19	C_2	40	700	115
O2,6	C_1	15	810	40	O2,19	C_3	20	900	115
O1,7	C_2,C_4	30	650	45	O3,19	C_6 ,C_5	30	930	115
O2,7	C_1 ,C_5	20	710	45	O1,20	C_1,C_5	25	1880	120
O3,7	C_4	30	790	45	O1,21	C_1 ,C_5	30	900	120
O1,8	C_1	20	900	50	O2,21	C_4 ,C_2	30	930	120
O2,8	C_2 ,C_5	30	930	50	O3,21	C_2,C_6	20	950	120
O1,9	C_5 ,C_6	50	180	60	O1,22	C_5	15	1180	135
O2,9	C_2 ,C_4	30	250	60	O2,22	C_1 ,C_3	30	1220	135
O3,9	C_1	20	280	60	O3,22	C_2	20	1251	135
O1,10	C_3	10	880	60	O1,23	C_1 ,C_3	40	1100	145
O2,10	C_1	20	900	60	O2,23	C_4 ,C_6	30	1140	145
O3,10	C_2 ,C_5	30	930	60	O1,24	C_1 ,C_5	15	1300	150
O1,11	C_3	15	880	70	O2,24	C_2 ,C_6	20	1430	150
O2,11	C_1	20	900	70	O3,24	C_2 ,C_3	40	1520	150
O3,11	C_2 ,C_4	30	930	70	O1,25	C_1 ,C_3	15	1270	160
O1,12	C_4	10	960	75	O2,25	C_3 ,C_5	40	1350	160
O2,12	C_1	10	980	75	O3,25	C_2	20	1410	160
O3,12	C_3	30	990	75	O4,25	C_1	15	1430	160
O4,12	C_2 ,C_5	20	1080	75	O1,26	C_3	20	1750	180
O1,13	C_1	20	900	75	O2,26	C_1	15	1810	180

$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)	$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)
O1,27	C_5	30	1650	185	O1,40	C_3	15	1880	215
O2,27	C_3 ,C_6	20	1710	185	O2,40	C_1	20	1900	215
O3,27	C_2	30	1790	185	O1,41	C_1 ,C_5	15	1080	220
O1,28	C_1	20	1900	190	O2,41	C_3	20	1100	220
O2,28	C_2 ,C_5	30	1930	190	O3,41	C_2	30	1130	220
O1,29	C_4 ,C_6	50	1080	190	O1,42	C_4	10	960	220
O2,29	C_3 ,C_4	30	1150	190	O2,42	C_1	10	980	220
O3,29	C_2	20	1180	190	O3,42	C_3	30	990	220
O1,30	C_3	10	880	195	O4,42	C_2 ,C_5	20	1080	220
O2,30	C_5	20	900	195	O1,43	C_1	20	1900	220
O3,30	C_2 ,C_5	30	930	195	O2,43	C_2 ,C_3	30	1930	220
O1,31	C_1 ,C_5	15	1180	195	O1,44	C_4	10	1000	225
O2,31	C_3	20	1195	195	O2,44	C_1	20	1020	225
O3,31	C_2	30	2015	195	O3,44	C_3 ,C_5	30	1040	225
O1,32	C_4	10	960	195	O4,44	C_2	10	1080	225
O2,32	C_1	10	980	195	O1,45	C_4 ,C_6	20	1020	230
O3,32	C_3	30	990	195	O2,45	C_3 ,C_4	30	1040	230
O4,32	C_2 ,C_5	20	1080	195	O3,45	C_2	10	1080	230
O1,33	C_1	20	1100	195	O1,46	C_1	20	1520	230
O2,33	C_4 ,C_5	30	1130	195	O2,46	C_4 ,C_5	30	1550	230
O1,34	C_4	10	1000	200	O1,47	C_3	10	1300	235
O2,34	C_1	20	1002	200	O2,47	C_1	20	1430	235
O3,34	C_3 ,C_5	30	1010	200	O3,47	C_1 ,C_4	30	1520	235
O4,34	C_2	10	1080	200	O1,48	C_1	15	1100	235
O1,35	C_1 ,C_4	20	1090	200	O2,48	C_4	20	1140	235
O2,35	C_2	30	1110	200	O3,48	C_2 ,C_5	30	1180	235
O3,35	C_1 ,C_3	10	1140	200	O1,49	C_2	40	1220	235
O1,36	C_1	20	1000	200	O2,49	C_3	20	1260	235
O2,36	C_2 ,C_5	30	1030	200	O3,49	C_6 ,C_5	30	1280	235
O1,37	C_3	10	1080	210	O1,50	C_1,C_5	25	1880	240
O2,37	C_5	20	1090	210	O2,50	C_2	25	1910	240
O3,37	C_2 ,C_4	30	1130	210	O1,51	C_1 ,C_5	15	1980	240
O1,38	C_3	10	1200	210	O2,51	C_3	20	1200	240
O2,38	C_1	20	1210	210	O3,51	C_2	30	1230	240
O3,38	C_2 ,C_5	30	1240	210	O1,52	C_4	10	960	240
O1,39	C_1	40	1340	215	O2,52	C_1	10	980	240
O2,39	C_3 ,C_2	20	1380	215	O3,52	C_6	30	990	240

$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)	$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)
O1,53	C_1	20	2100	255	O1,66	C_3	20	1750	340
O2,53	C_4 ,C_5	30	2130	255	O2,66	C_1	15	1810	340
O1,54	C_4	10	2000	255	O1,67	C_2,C_4	30	1650	345
O2,54	C_1	20	2002	255	O2,67	C_1 ,C_5	20	1710	345
O3,54	C_3 ,C_5	30	2010	255	O3,67	C_4	30	1790	345
O4,54	C_2	10	2080	255	O1,68	C_1	20	1900	350
O1,55	C_1 ,C_4	20	2090	255	O2,68	C_2 ,C_5	30	1930	350
O2,55	C_2	30	2110	255	O1,69	C_5 ,C_6	50	2180	360
O3,55	C_1 ,C_3	10	2140	255	O2,69	C_2 ,C_4	30	2250	360
O1,56	C_1	20	2000	255	O3,69	C_1	20	2280	360
O2,56	C_2 ,C_5	30	2030	255	O1,70	C_3	10	1880	360
O1,57	C_3	10	2080	255	O2,70	C_1	20	1900	360
O2,57	C_5	20	2090	255	O3,70	C_2 ,C_5	30	1930	360
O3,57	C_2 ,C_4	30	2130	255	O1,71	C_3	15	1880	370
O1,58	C_3	10	1200	280	O2,71	C_1	20	1900	370
O2,58	C_1	20	1210	280	O3,71	C_2 ,C_4	30	1930	370
O3,58	C_2 ,C_5	30	1240	280	O1,72	C_4	10	1960	375
O1,59	C_1	40	1340	280	O2,72	C_1	10	1980	375
O2,59	C_3 ,C_2	20	1380	280	O3,72	C_3	30	1990	375
O3,59	C_6 ,C_5	30	1280	280	O4,72	C_2 ,C_5	20	2080	375
O1,60	C_1,C_5	25	1880	285	O1,73	C_1	20	2100	395
O2,60	C_2	25	1910	285	O2,73	C_4 ,C_5	30	2130	395
O1,61	C_1 ,C_5	15	1980	300	O1,74	C_4	10	2200	400
O2,61	C_3	20	2200	300	O2,74	C_1	20	2250	400
O3,61	C_2	30	2230	300	O3,74	C_3 ,C_5	30	2280	400
O1,62	C_4	10	2060	300	O4,74	C_2	10	2280	400
O2,62	C_1	10	2080	300	O1,75	C_1 ,C_4	20	3010	400
O3,62	C_6	30	2110	300	O2,75	C_2	30	3030	400
O1,63	C_1	20	1900	320	O3,75	C_1 ,C_3	10	3080	400
O2,63	C_2 ,C_3	30	1930	320	O1,76	C_1	20	2900	400
O1,64	C_4	10	2000	325	O2,76	C_2 ,C_5	30	3030	400
O2,64	C_1	20	2020	325	O1,77	C_3	10	3080	410
O3,64	C_3 ,C_5	30	2040	325	O2,77	C_5	20	3090	410
O4,64	C_2	10	2080	325	O3,77	C_2 ,C_4	30	3130	410
O1,65	C_4 ,C_6	20	2120	330	O1,78	C_3	10	3200	410
O2,65	C_3 ,C_4	30	2140	330	O2,78	C_1	20	3210	410
O3,65	C_2	10	2180	330	O3,78	C_2 ,C_5	30	3240	410

$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)	$O_{i,j}$	C_k	$d_{i,j,k}$ (mn)	$dl_{i,j}$ (mn)	rp_j (mn)
O1,79	C_1	40	3340	450	O2,90	C_1	20	2900	620
O2,79	C_3 ,C_2	20	3380	450	O3,90	C_2 ,C_5	30	2930	620
O3,79	C_6 ,C_5	30	3410	450	O1,91	C_3	15	2880	640
O1,80	C_1,C_5	25	1880	455	O2,91	C_1	20	2900	640
O2,80	C_2	25	1910	455	O3,91	C_2 ,C_4	30	2930	640
O1,81	C_1 ,C_5	15	1980	455	O1,92	C_4	10	2960	675
O2,81	C_3	20	2200	455	O2,92	C_1	10	2980	675
O3,81	C_2	30	2230	455	O3,92	C_3	30	2990	675
O1,82	C_4	10	2060	460	O4,92	C_2 ,C_5	20	3080	675
O2,82	C_1	10	2080	460	O1,93	C_1	20	2900	720
O3,82	C_6	30	2110	460	O2,93	C_2 ,C_3	30	2930	720
O1,83	C_1	20	1900	480	O1,94	C_4	10	3000	745
O2,83	C_2 ,C_3	30	1930	480	O2,94	C_1	20	3020	745
O1,84	C_4	10	3000	485	O3,94	C_3 ,C_5	30	3040	745
O2,84	C_1	20	3020	485	O4,94	C_2	10	3080	745
O3,84	C_3 ,C_5	30	3040	485	O1,95	C_4 ,C_6	20	3120	760
O4,84	C_2	10	3080	485	O2,95	C_3 ,C_4	30	3140	760
O1,85	C_4 ,C_6	20	2120	490	O3,95	C_2	10	3180	760
O2,85	C_3 ,C_4	30	2140	490	O1,96	C_3	20	3750	810
O3,85	C_2	10	2180	490	O2,96	C_1	15	3810	810
O1,86	C_3	20	2750	510	O1,97	C_2,C_4	30	3650	820
O2,86	C_1	15	2810	510	O2,97	C_1 ,C_5	20	3710	820
O1,87	C_2,C_4	30	2650	570	O3,97	C_4	30	2790	820
O2,87	C_1 ,C_5	20	2710	570	O1,98	C_1	20	2900	840
O3,87	C_4	30	2790	570	O2,98	C_2 ,C_5	30	2930	840
O1,88	C_1	20	2900	600	O1,99	C_5 ,C_6	50	3180	850
O2,88	C_2 ,C_5	30	2930	600	O2,99	C_2 ,C_4	30	3250	850
O1,89	C_5 ,C_6	50	3180	600	O3,99	C_1	20	3280	850
O2,89	C_2 ,C_4	30	3250	600	O1,100	C_3	10	3880	720
O3,89	C_1	20	3280	600	O2,100	C_1	20	3900	720
O1,90	C_3	10	2880	620	O3,100	C_2 ,C_5	30	3930	720

Architecture distribuée à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgence en milieu hospitalier

Résumé

Les établissements de santé sont confrontés à de nouveaux défis tels que le vieillissement de la population, la hausse des coûts des soins et les progrès rapides des technologies médicales. Les nouvelles politiques de contrôle du budget des soins ont été introduites pour augmenter l'efficacité, réduire les déchets et remodeler le système de santé. Ces établissements cibles présentent des réseaux complexes incluant de ressources humaines, financières, structurelles et technologiques visant à garantir les meilleurs soins. Ces enjeux concernent d'autant plus les services d'urgence engorgés par l'afflux massif des passages, qui doivent fournir des décisions rapides et assurer le dimensionnement de ses ressources afin de réduire les délais d'attente des patients sans compromettre la qualité de soin.

L'objectif de cette thèse est de proposer des solutions appropriées aux services d'urgences permettant d'améliorer la prise en charge des patients en termes de temps d'attente. Nous avons commencé par analyser les problématiques de la filière des urgences afin d'engager une démarche d'amélioration. Par la suite, nous avons modélisé le processus de prise en charge des patients au service d'accueil des urgences à l'aide d'un système multi-agent ouvert et dynamique. Le système proposé permet de fournir une aide à la décision sur la planification de l'activité médicale et l'affectation des ressources humaines dans une unité où on se trouve souvent face à une situation d'urgence nécessitant une prise en charge rapide et efficace. Dans ce contexte, nous abordons le problème réactif d'optimisation de l'ordonnancement des opérations de soin et le problème de coordination du personnel médical. Nous nous intéressons au dimensionnement des ressources humaines au SU en adoptant une approche de prise en compte des compétences maîtrisées dans le but de trouver une adéquation avec celles requises par l'activité médicale afin avant tout d'accroitre la qualité, réduire les délais d'attente et permettre de dégager des gains de gestion.

Cette thèse est menée avec la collaboration de plusieurs structures d'urgences en France et en Tunisie. Les résultats des simulations mettent en exergue l'apport de notre système multi-agent pour l'aide à la décision.

Mots-clés

Prise en charge des urgences, système multi-agent, O-MaSE, optimisation, affectation du personnel médical, ordonnancement réactif, coordination, aide à la décision.

Distributed agent based architecture to optimize the management of patients at the emergency department in hospitals

Abstract

Health-care organizations are facing new challenges such as the aging population, the rise of health care costs and the rapid progress of medical technologies. New policies of health care budget control have been introduced to increase efficiency, reduce waste and reshape the entire health care system. Targeted organizations are complex networks of human, financial, structural and technological resources aiming at guarantying best public health-care. These issues concern all the more Emergency Departments (ED) congested by the massive influx of passages and which must provide quick decisions and ensure the sizing of its resources to reduce waiting times for patients without compromising quality of care.

The objective of this thesis is to propose appropriate solutions to ED to improve care for patients in terms of waiting time. We began by analyzing the problems of the emergency department in order to initiate a process of improvement. Subsequently, we modeled the process of care for patients at ED by using an open and dynamic multi-agent system. The proposed system can provide decision support on business planning and allocation of medical resources in a unit where one is often faced with an emergency situation requiring rapid and effective response. In this context, we study the reactive problem for optimizing scheduling of operations care and the coordination problem of medical staff. We take into account the skills mastered by human resources at ED in order to find a match with those required by the medical activity. This approach aims to increase quality, reduce time of expectation and provide pointers gains management.

This thesis is achieved with the collaboration of several emergency departments in France and Tunisia. The simulation results highlight the contribution of our multi-agent system for decision support.

Keywords

Management of emergencies, multi-agent system, O-Mase, optimization, assignment of medical staff, reactive scheduling, coordination, decision support.