



# Outils et modèles collaboratifs pour la gestion des tensions dans les services des urgences pédiatriques

Inès Ajmi

## ► To cite this version:

Inès Ajmi. Outils et modèles collaboratifs pour la gestion des tensions dans les services des urgences pédiatriques. Automatique / Robotique. Ecole Centrale de Lille, 2015. Français. NNT : 2015ECLI0012 . tel-01277772

**HAL Id: tel-01277772**

**<https://theses.hal.science/tel-01277772>**

Submitted on 23 Feb 2016

**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 : 271**

**Ecole Centrale de Lille**

**THESE**

Présentée en vue d'obtenir le grade de

**DOCTEUR**

**Spécialité : Automatique, génie informatique, traitement du signal et images**

Par

**Inès AJMI**

Doctorat délivré par l'Ecole Centrale de Lille

**Outils et modèles collaboratifs pour la gestion des tensions dans les services  
des urgences pédiatriques**

Soutenue publiquement le 16 Juin 2015 devant le jury :

|                       |                               |                                                                                 |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Président(e) :</b> | <b>Pr. Mariagrazia DOTOLI</b> |                                                                                 |
| <b>Rapporteurs :</b>  | <b>Alassane B. NDIAYE</b>     | Professeur, Ecole Polytechnique, Université Libre de Bruxelles                  |
|                       | <b>Abdallah ELMOUDNI</b>      | Professeur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard                    |
| <b>Examineurs :</b>   | <b>Mariagrazia DOTOLI</b>     | Professeure, DEI - Politecnico di Bari                                          |
|                       | <b>Jean-Marie RENARD</b>      | Praticien Hospitalier, Maître de Conférences, CERIM-Université de Lille 2       |
| <b>Directeur :</b>    | <b>Slim HAMMADI</b>           | Professeur, Ecole Centrale de Lille                                             |
| <b>Co-directeur :</b> | <b>Hayfa ZGAYA</b>            | HDR. MCF. ILIS - Université de Lille 2                                          |
| <b>Invité(e) :</b>    | <b>Dr. Catherine LE ROUX</b>  | Département d'accueil et de traitement des urgences, CHU, Hôpital Côte de Nacre |

Thèse préparée dans le **Centre de Recherche en Informatique, Signal et Automatique de Lille (CRISAL)**, UMR CNRS 9189

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



# ***Dédicaces***

*À mes parents*

*À mon très cher époux et ma fille*

*À ma chère tante et mes chers oncles*

*À mon frère et sa famille*

*A mes sœurs*

*À tous ceux qui m'aiment*

# *Remerciements*

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de thèse Monsieur Slim HAMMADI, Professeur à l'Ecole Centrale de Lille, pour ses conseils judicieux, pour m'avoir assuré un cadre de travail agréable, encouragée et encadrée tout au long de ma thèse.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à Madame Hayfa ZGAYA, MCF et H.D.R à l'ILIS de l'Université de Lille 2, pour m'avoir toujours encouragée à aller de l'avant.

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance aux membres du CHRU de Lille, plus particulièrement messieurs Jean-Marie RENARD, Régis BEUSCART et Alain MARTINOT, pour m'avoir accueillie au sein de cet établissement et pour le temps qu'ils m'ont consacré. Je les remercie sincèrement pour leurs explications très précieuses.

Je remercie Monsieur Abdallah ELMOUDNI, Professeur à l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard et Monsieur Alassane B. NDIAYE, Professeur à l'Ecole Polytechnique de Bruxelles pour avoir accepté d'étudier mes travaux et de les évaluer en leurs qualités de rapporteurs.

Je remercie les autres membres du jury pour avoir accepté d'être les examinateurs de cette thèse ; j'adresse donc des remerciements tout à fait particuliers à Mme Mariagracia DOTOLI, Professeure à Politecnico di Bari. J'aimerais également adresser spécialement un grand MERCI à M. Jean-Marie RENARD, Praticien Hospitalier et Maître de Conférences à l'Université de Lille 2. Je remercie aussi vivement Dr. Catherine LE ROUX de l'Hôpital Côte de Nacre qui a bien voulu examiner ce travail et participer à ce jury.

Mes remerciements aux membres examinateurs et invités qui ont bien voulu évaluer mon travail de recherche.

Enfin, que tous ceux et celles 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

|                    |                                                                                        |           |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Chapitre I</b>  | <b>Les systèmes hospitaliers et les services d'urgences .....</b>                      | <b>16</b> |
| I.1                | Introduction.....                                                                      | 16        |
| I.2                | Le secteur de la santé.....                                                            | 17        |
| I.2.1              | Contexte international .....                                                           | 17        |
| I.2.2              | Le contexte national.....                                                              | 19        |
| I.2.3              | Le contexte régional.....                                                              | 21        |
| I.2.4              | L'émergence de besoins nouveaux .....                                                  | 22        |
| I.3                | Les systèmes d'information hospitaliers et de santé .....                              | 23        |
| I.3.1              | La logistique intra et inter hospitalière .....                                        | 23        |
| I.3.2              | La planification intra et inter hospitalière .....                                     | 24        |
| I.3.3              | Le management de la qualité .....                                                      | 24        |
| I.3.4              | L'évaluation des performances.....                                                     | 25        |
| I.3.5              | Les enjeux.....                                                                        | 25        |
| I.4                | Les services des urgences hospitalières.....                                           | 28        |
| I.4.1              | La place des Services d'Urgences Hospitalières dans le système de santé français ..... | 29        |
| I.4.2              | Les services d'urgences : un maillon pivot et une situation alarmante.....             | 30        |
| I.4.3              | La persistance de risques de tension dans les services des urgences .....              | 32        |
| I.5                | Les Services des Urgences Pédiatrique : Réalité et enjeux .....                        | 35        |
| I.5.1              | Problèmes et enjeux des services des urgences pédiatriques .....                       | 35        |
| I.5.2              | Des risques de tension aux services d'urgences pédiatrique .....                       | 37        |
| I.6                | Problématique de recherche : Projet ANR HOST .....                                     | 39        |
| I.6.1              | Présentation du projet .....                                                           | 39        |
| I.6.2              | Problématique de recherche .....                                                       | 40        |
| I.7                | Conclusion .....                                                                       | 42        |
| <b>Chapitre II</b> | <b>Les approches de modélisation et d'optimisation en santé .....</b>                  | <b>44</b> |
| II.1               | Introduction.....                                                                      | 44        |
| II.2               | Les approches de modélisation.....                                                     | 45        |
| II.2.1             | Modélisation UML.....                                                                  | 45        |
| II.2.2             | Le Workflow comme outil de modélisation .....                                          | 47        |
| II.2.3             | Les Systèmes Multi-Agents (SMA).....                                                   | 50        |

|                     |                                                                                                       |           |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| II.3                | Les approches d'optimisation .....                                                                    | 58        |
| II.3.1              | Heuristiques et méta heuristiques.....                                                                | 58        |
| II.3.2              | Le recuit simulé (Simulated Annealing - SA) .....                                                     | 59        |
| II.3.3              | La recherche tabou (Tabu Search – TS) .....                                                           | 60        |
| II.3.4              | Les algorithmes évolutionnaires .....                                                                 | 61        |
| II.3.5              | Les algorithmes génétiques.....                                                                       | 63        |
| II.4                | Modélisation et optimisation en santé .....                                                           | 64        |
| II.4.1              | Optimisation de l'allocation de ressources et d'ordonnancement dans les établissements de santé ..... | 65        |
| II.4.2              | Allocation des ressources.....                                                                        | 66        |
| II.4.3              | Optimisation des ressources.....                                                                      | 66        |
| II.4.4              | Ordonnancement du personnel.....                                                                      | 67        |
| II.4.5              | L'optimisation dans le domaine de l'hadronthérapie.....                                               | 68        |
| II.4.6              | L'optimisation par la chasse aux gaspillages : le Lean Healthcare .....                               | 70        |
| II.5                | Modélisation et simulation du SUP : vers une Alliance entre SMA et Métaheuristique.....               | 72        |
| II.5.1              | Choix des approches de résolution .....                                                               | 72        |
| II.5.2              | Pourquoi cette alliance ?.....                                                                        | 73        |
| II.5.3              | L'outil Workflow pour modéliser notre terrain d'expérimentation.....                                  | 74        |
| II.6                | Conclusion .....                                                                                      | 74        |
| <b>Chapitre III</b> | <b>Modélisation Workflow du parcours patient au sein des Services des urgences pédiatriques .....</b> | <b>76</b> |
| III.1               | Introduction .....                                                                                    | 76        |
| III.2               | Modèle global et sous-processus.....                                                                  | 76        |
| III.2.1             | Infrastructure du SUP .....                                                                           | 77        |
| III.2.2             | Observation du terrain et collecte des données.....                                                   | 79        |
| III.2.3             | Parcours du patient.....                                                                              | 80        |
| III.2.4             | Caractéristiques de l'activité au sein du SUP.....                                                    | 82        |
| III.2.5             | Périodes d'activité au SUP.....                                                                       | 83        |
| III.3               | Modélisation du SUP à l'aide de l'outil Workflow .....                                                | 83        |
| III.3.1             | Modélisation workflow en régime « normal ».....                                                       | 84        |
| III.3.2             | Modélisation workflow en régime de « Tension ».....                                                   | 91        |
| III.4               | Les premiers pas vers la simulation .....                                                             | 96        |

|                                                                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| III.5 Conclusion.....                                                                                                                            | 99         |
| <b>Chapitre IV Architecture de résolution pour fluidifier les flux patients : vers une alliance Système Multi-Agent et Métaheuristique .....</b> | <b>100</b> |
| IV.1 Introduction .....                                                                                                                          | 100        |
| IV.2 Architecture Agent proposée.....                                                                                                            | 101        |
| IV.2.1 Le processus de prise en charge au SUP .....                                                                                              | 101        |
| IV.2.2 Système multi-Agent proposé .....                                                                                                         | 102        |
| IV.2.3 Diagramme de buts.....                                                                                                                    | 109        |
| IV.2.4 Diagramme de rôles.....                                                                                                                   | 110        |
| IV.2.5 Diagramme d'Agent.....                                                                                                                    | 112        |
| IV.3 Comportements des agents dans l'architecture proposée .....                                                                                 | 114        |
| IV.3.1 Comportement de l'Agent d'Accueil (AA).....                                                                                               | 114        |
| IV.3.2 Comportement de l'Agent Identificateur (AI).....                                                                                          | 115        |
| IV.3.3 Comportement de l'Agent Suivi (AS) .....                                                                                                  | 116        |
| IV.3.4 Comportement de l'Agent Mobile Personnels (AMPs) .....                                                                                    | 117        |
| IV.4 Comportement de l'Agent Ordonnanceur (AO) : vers une mise en œuvre de l'alliance SMA/Méta heuristique .....                                 | 117        |
| IV.4.1 Comportement de l'Agent Ordonnanceur (AO) .....                                                                                           | 118        |
| IV.4.2 Formulation mathématique du problème d'ordonnancement dans le SUP .....                                                                   | 119        |
| IV.4.3 Mise en œuvre de l'Algorithme génétique (AG) dans le cœur de l'agent ordonnanceur .....                                                   | 125        |
| IV.5 Orchestration du Workflow par les agents.....                                                                                               | 136        |
| IV.5.1 Architecture d'orchestration dynamique .....                                                                                              | 137        |
| IV.5.2 Mesure des performances .....                                                                                                             | 140        |
| IV.6 Conclusion.....                                                                                                                             | 141        |
| <b>Chapitre V Simulations et Résultats .....</b>                                                                                                 | <b>142</b> |
| V.1 Introduction.....                                                                                                                            | 142        |
| V.2 Simulation et Résultat : outil de gestion du Workflow .....                                                                                  | 142        |
| V.2.1 Simulation en Régime Normal.....                                                                                                           | 142        |
| V.2.2 La création des profils de charge .....                                                                                                    | 143        |
| V.2.3 Des scénarios de tests par profil de charge .....                                                                                          | 145        |
| V.2.4 Simulation en Régime de Tension .....                                                                                                      | 151        |
| V.3 Simulations et Résultats de l'ordonnancement à base d'agents des activités des soins .....                                                   | 157        |

|                                                  |                                                                                                            |            |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| V.3.1                                            | Plateforme d'expérimentation.....                                                                          | 157        |
| V.3.2                                            | Fonctionnement de l'alliance SMA-Métaheuristique au profit de<br>l'ordonnancement des tâches de soin ..... | 159        |
| V.3.3                                            | Mise en œuvre de l'architecture de résolution avec des données réelles de<br>grande taille.....            | 164        |
| V.4                                              | Simulation et Résultat de l'Orchestration dynamique du Workflow par l'Agent<br>Ordonnanceur .....          | 166        |
| V.4.1                                            | L'Agent Ordonnanceur au service de l'orchestration.....                                                    | 166        |
| V.4.2                                            | Analyse des résultats d'orchestration et ré-orchestration.....                                             | 168        |
| V.5                                              | Conclusion .....                                                                                           | 171        |
| <b>Conclusion Générale et Perspectives .....</b> |                                                                                                            | <b>172</b> |
| <b>Bibliographie .....</b>                       |                                                                                                            | <b>175</b> |
| <b>Annexes .....</b>                             |                                                                                                            | <b>188</b> |

# Index des figures

|                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure I.1 : Les causes de la tension dans les urgences selon Kadri et al. (2013) .....                                                                                                                        | 33  |
| Figure.I.2: Evolution du nombre de passages aux urgences.....                                                                                                                                                  | 34  |
| Figure.I.3: Nombre de services d'urgence déclarés « en tension »ou « en risque de tension » au regard du nombre total de services novembre 2013 ( <i>Sources : Rapport de la Cour des Comptes, 2014</i> ) .... | 34  |
| Figure.I.4: Nombre d'hospitalisations faisant suite à un passage aux urgences par classe d'âge de cinq ans en 2012 ( <i>Source : le rapport de la Cour des Comptes 2014</i> ).....                             | 37  |
| Figure.I.5: Taux de recours aux urgences par motif et âge du patient (Source : <i>DREES Enquête Urgences juin 2013</i> ).....                                                                                  | 37  |
| Figure.II.1: Éléments de base de la langue BPMN .....                                                                                                                                                          | 49  |
| Figure.II.2: L'interaction d'un agent avec son environnement et d'autres agents (Ferber, 95) .....                                                                                                             | 54  |
| Figure.II.3 : Organigramme de la métaheuristique du « Recuit Simulé » (Siarry, 2002).....                                                                                                                      | 60  |
| Figure.II.4: Organigramme de l'algorithme « Tabou » (Siarry, 2002).....                                                                                                                                        | 61  |
| Figure.II.5: Résolution d'un problème par algorithme génétique (Siarry, 2002) .....                                                                                                                            | 63  |
| Figure.II.6: Organigramme de l'Algorithme Génétique.....                                                                                                                                                       | 64  |
| Figure.III.1 : Architecture physique du SUP.....                                                                                                                                                               | 77  |
| Figure.III.2 : Les flux patients dans les services des urgences .....                                                                                                                                          | 80  |
| Figure.III.3 : Le parcours de soins dans le SUP .....                                                                                                                                                          | 81  |
| Figure.III.4 : Processus d'hospitalisation au sein du SUP.....                                                                                                                                                 | 82  |
| Figure.III.5 : Modèle global du parcours patient dans le SUP.....                                                                                                                                              | 86  |
| Figure.III.6 : Modélisation dans soins externe.....                                                                                                                                                            | 89  |
| Figure.III.7 : Modélisation dans Unité d'Hospitalisation Courte Durée .....                                                                                                                                    | 90  |
| Figure.III.8 : Modélisation Urgence Vitale.....                                                                                                                                                                | 90  |
| Figure.III.9 : Modèle globale du parcours patient en régime tension .....                                                                                                                                      | 94  |
| Figure.III.10 : Workflow de Soins Externe en régime tension .....                                                                                                                                              | 94  |
| Figure.III.11 : Workflow en UHCD en régime tension.....                                                                                                                                                        | 95  |
| Figure.III.12 : Workflow de l'UV en régime tension.....                                                                                                                                                        | 96  |
| Figure.IV.1: Architecture proposée à base d'agents.....                                                                                                                                                        | 103 |
| Figure.IV.2.a Création de la liste des tâches de soin.....                                                                                                                                                     | 105 |
| Figure.IV.3.b Création de la liste des tâches de soin .....                                                                                                                                                    | 106 |
| Figure.IV.4 : Diagramme de but .....                                                                                                                                                                           | 110 |
| Figure.IV.5 : Diagramme de Rôle.....                                                                                                                                                                           | 111 |
| Figure.IV.6 : Diagramme d'agent.....                                                                                                                                                                           | 113 |
| Figure.IV.7 : Description du comportement de l'agent Accueil.....                                                                                                                                              | 114 |

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure.IV.8 : Description du comportement de l'agent identificateur.....                                                                         | 115 |
| Figure.IV.9 : Description du comportement de l'Agent Suivi.....                                                                                  | 116 |
| Figure.IV.10 : Description du comportement de l'Agent Mobile Personnels (AMPs).....                                                              | 117 |
| Figure.IV.11 : Description du comportement de l'Agent Ordonnanceur (AO).....                                                                     | 119 |
| Figure.IV.12 : Cube Tâche à réaliser/Personnel/Temps.....                                                                                        | 127 |
| Figure.IV.13 : Cube Tâche/Patient/Temps.....                                                                                                     | 127 |
| Figure.IV.14 : Algorithme Croisement-Cubique –Patient (A2CP).....                                                                                | 130 |
| Figure.IV.15 : Orchestration dynamique à trois couches.....                                                                                      | 138 |
| Figure.IV.16 : Les différents Workflows à exécuter par chaque patient selon leur parcours de prise en charge. (WSX= Workflow du service X) ..... | 139 |
| Figure.IV.17 : Le GANTT fournis par l'agent ordonnanceur .....                                                                                   | 140 |
| Figure. V.1 : Profil de charge (paramètre de simulation) .....                                                                                   | 144 |
| Figure.V.2 : Le temps d'attente dans le SUP.....                                                                                                 | 144 |
| Figure.V.3 : Nombre de patients par tranche horaire dans une journée .....                                                                       | 146 |
| Figure.V.4 : Nombre de patients par tranche horaire dans une journée sous Bonitasoft .....                                                       | 146 |
| Figure.V.5 : Nombre de patients par tranche horaire dans une journée (Hiver) .....                                                               | 147 |
| Figure.V.6 : Nombre de patients par tranche horaire dans une journée (crise) .....                                                               | 147 |
| Figure.V.7 : Temps d'attente moyen pendant l'ETE.....                                                                                            | 148 |
| Figure.V.8 : Nombre d'utilisation de la ressource (AS) pendant l'ETE .....                                                                       | 148 |
| Figure.V.9 : Temps d'attente moyen pendant l'HIVER .....                                                                                         | 149 |
| Figure.V.10 : Nombre d'utilisation de la ressource (AS) pendant l'HIVER.....                                                                     | 149 |
| Figure.V.11 : Temps d'attente moyen période de CRISE .....                                                                                       | 150 |
| Figure.V.12 : Temps d'attente moyen pour l'accueil et l'orientation période de CRISE.....                                                        | 150 |
| Figure.V.13 : Nombre d'utilisation de la ressource (AS) période de CRISE .....                                                                   | 151 |
| Figure.V.14 : Simulation du BOX.....                                                                                                             | 152 |
| Figure.V.15 : Consultation dans les BOX .....                                                                                                    | 152 |
| Figure.V.16 : Consultation dans salle Plâtres/Sutures.....                                                                                       | 153 |
| Figure.V.17 : Simulation dans la salle de Plâtres/Sutures .....                                                                                  | 154 |
| Figure.V.18 : Temps d'attente dans l'UHCD.....                                                                                                   | 155 |
| Figure.V.19 : Temps d'attente dans l'UHCD (Bloc opératoire) .....                                                                                | 156 |
| Figure.V.20 : Temps d'attente dans l'UV .....                                                                                                    | 157 |
| Figure.V.21 : JADE Administration.....                                                                                                           | 158 |
| Figure.V.22 : Agent Sniffer .....                                                                                                                | 159 |
| Figure.V.23 : Gantt fourni par AO à t=0.....                                                                                                     | 161 |
| Figure.V.24 : Gantt fourni par AO t=2.....                                                                                                       | 163 |
| Figure.V.25 : Gantt de réordonnancement à l'instant t=2.....                                                                                     | 163 |

|                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure.V.26 : Distribution du temps moyen d'attente avec Agent ordonnanceur.....                                                                                                                  | 164 |
| Figure.V.27 : Diagramme de Gantt par l'AO .....                                                                                                                                                   | 167 |
| Figure.V.28 : Workflow Patient (1) .....                                                                                                                                                          | 167 |
| Figure.V.29 : Workflow Patient (3) .....                                                                                                                                                          | 168 |
| Figure.V.30 : Workflow Patient (2) .....                                                                                                                                                          | 168 |
| Figure.V.31 : Résultats de simulation à l'aide de BD 2011. Pourcentage moyenne de gain totale de<br>file d'attente par rapport au nombre de tâches avec des différentes tailles des patients..... | 170 |
| Figure.V.32 : Pourcentage moyen du temps d'attente par rapport au nombre de tâches avec des<br>proportions de patients dynamiques et fixes pour 20 patients.....                                  | 170 |

# Index des tableaux

|                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau I.1 : Définitions du terme urgence, <i>adaptée de Glaa (2009)</i> .....                                                                                                            | 30  |
| Tableau.I.2: Dénombrement des structures d’urgences hospitalières en fonction du statut des établissements de santé, du type d’autorisation, du nombre de passages quotidiens DREES 2013.. | 39  |
| Tableau II.1: Les avantages et les inconvénients d’UML.....                                                                                                                                | 47  |
| Tableau.II.2 : Analogies chaîne logistique et SMA (Tounsi, 2009).....                                                                                                                      | 55  |
| Tableau.III.1: Echantillon de données anonymes en 2011.....                                                                                                                                | 97  |
| Tableau.III.2 : Echantillon de données anonymes en 2012.....                                                                                                                               | 98  |
| Tableau.IV.1 : Classification Clinique des Maladies aux Urgences (CCMU).....                                                                                                               | 101 |
| Tableau.IV.2 : Les phases de l’Agent Ordonnanceur (AO).....                                                                                                                                | 108 |
| Tableau.IV.3 : Exemple des compétences médicales .....                                                                                                                                     | 120 |
| Tableau.IV.4 : Exemple de table des degrés d’expérience du personnel.....                                                                                                                  | 121 |
| Tableau.IV.5 : Exemple de table d’identification des opérations de soin nécessitant des compétences multiples.....                                                                         | 121 |
| Tableau.IV.6 : Listes des contraintes.....                                                                                                                                                 | 135 |
| Tableau.V.1 : Personnel médical du SUP .....                                                                                                                                               | 159 |
| Tableau.V.2 : Compétences du personnel.....                                                                                                                                                | 160 |
| Tableau.V.3 : Identification des opérations de soin à $t=0$ .....                                                                                                                          | 160 |
| Tableau.V.4 : Identification des opérations de soin à $t=2$ .....                                                                                                                          | 162 |

## Introduction générale

La prise de conscience de l'enjeu majeur que représente la gestion des systèmes de production de soins et la maîtrise des différents flux hospitaliers est de plus en plus forte. Cette maîtrise vise à l'amélioration de la qualité des soins prodigués aux patients et elle est conditionnée par des impératifs de maîtrise des dépenses de santé, de gestion des risques et de la qualité. Cela s'est traduit, depuis plusieurs années, par différentes actions à caractère stratégique et opérationnel dans le secteur des soins de santé.

De nombreux rapports et études dressent un tableau de l'état des hôpitaux et du système hospitalier et de santé en crise morale, démographique et financière, notamment [COU 2003], [MOL 2005]. On en trouvera une synthèse dans l'ouvrage de Guinet et al. (2008). Cette situation résulte de l'accumulation de nouvelles contraintes, conjuguées à une forte rigidité des structures. Ainsi, les systèmes hospitaliers et les filières d'urgence rencontrent de plus en plus de difficultés à assurer leurs missions.

Toutefois, on constate qu'une mutation globale de l'hôpital et du système de santé français est en cours. La culture du secteur de la santé et en particulier celle des établissements hospitaliers publics et privés est donc confrontée à de nouveaux concepts. Ces initiatives ont un effet bénéfique mais l'analyse de l'évolution nécessaire du système de santé montre que des leviers importants de réussite de cette évolution sont l'optimisation de l'organisation qui induit celle des systèmes d'information. Ainsi, les dysfonctionnements observés à l'heure actuelle dans les services hospitaliers et filières de soins sont dus en grande partie à **une organisation mal adaptée aux contraintes et aux évolutions de leurs missions ainsi qu'à une mauvaise gestion des flux patients.**

Ainsi, les acteurs du secteur hospitalier et des filières de soins doivent maîtriser les problèmes liés aux flux des processus (i.e., patients, informations, produits, équipements) et à la restructuration qui se traduit en interne par la mutualisation des ressources et notamment par les plateaux techniques. Or, les professionnels de santé ne sont ni préparés ni formés pour résoudre de tels problèmes ; **Il apparaît qu'ils sont démunis en méthodologies et outils d'aide à la décision et de pilotage adaptés aux exigences qu'impliquent leurs modes de fonctionnement futurs.**

Cette thèse a pour but de contribuer à l'étude et au développement de la modélisation, l'optimisation et la mise en œuvre d'un Système d'Aide à la Décision pour évaluer la tension de l'hôpital afin d'améliorer la prise en charge des patients dans les différents services de l'hôpital. Ce système doit être le moteur logistique des établissements de santé permettant une meilleure efficacité du point de vue soins, gestion des ressources humaines et matérielles, tarification des activités médicales et anticipation des risques. Le système doit interagir avec un environnement distribué, incertain et dynamique, permettant de simuler, de la manière la plus fidèle possible à la réalité, les flux logistiques propagés, les activités du personnel médical ainsi que leurs comportements et déplacements dans les établissements de santé.

Concrètement, ces travaux de recherche sont menés dans le cadre du projet ANR HOST (2012-2015) que notre équipe OSL est partenaire à part entière. Ce projet HOST vise à mettre en œuvre un système d'aide à la décision permettant d'éviter au mieux la tension pouvant s'installer dans un établissement de santé. Plus particulièrement, nos travaux de recherche posent la question de savoir comment gérer au mieux la tension dans les Services d'Urgence Pédiatrique (SUP) qui est le terrain d'étude du projet HOST et également celui de cette thèse. Le SUP se caractérise par un niveau élevé de complexité et dont l'activité ne cesse de croître. En effet, le personnel du SUP rencontre un certain nombre de problèmes dans la gestion des processus des soins qui génèrent souvent des pics d'activité. C'est pourquoi nous devons chercher des moyens pour modéliser puis optimiser les processus au sein du SUP dans un contexte de demande croissante. Pour atteindre cet objectif, il est impératif que les activités connexes soient identifiées et comprises avec précision.

Le présent travail est organisé en 5 chapitres comme suit :

Le premier chapitre est consacré à l'étude des systèmes hospitaliers et les services d'urgences. Dans cette partie, nous décrivons le secteur de la santé: contexte (international, national, régional.), les systèmes d'information hospitaliers ainsi que les services des urgences hospitalières. Ceci nous amène à montrer la place des services d'urgences hospitalières dans le système de santé français. Par la suite, nous présentons le service des urgences pédiatriques.

Le deuxième chapitre présente les approches de modélisation et d'optimisation en santé, et décrit l'approche adoptée dans notre travail ainsi que ses avantages et ses applications dans les services des urgences pédiatriques.

Nous présentons dans le chapitre 3 la modélisation Workflow du parcours patient au sein du SUP de CHRU de Lille. Ensuite nous montrons les différents modèles (Normal et de Tension) ainsi que leurs processus respectif après avoir présenté le terrain d'étude choisi pour ce travail.

Dans le chapitre 4 nous proposons une architecture de résolution basée sur l'alliance entre les Systèmes Multi-Agents et les Métaheuristiques (SMA-Méta) permettant de minimiser les temps d'attente au sein du SUP.

Le chapitre 5 est consacré aux résultats des simulations des différents modèles construits tout au long de cette thèse. Nous commençons par présenter des résultats de simulation du SUP et de ses différentes sous processus avec un outil de gestion de Workflow. Ensuite, nous présentons les résultats obtenus à l'aide de l'approche SMA. Nous exposons les résultats de l'orchestration dynamique de workflow par les agents à la fin de ce chapitre.

Une conclusion générale et des perspectives ainsi qu'une liste des références bibliographiques et des annexes termineront ce travail de thèse.

# Chapitre I Les systèmes hospitaliers et les services d'urgences

## I.1 Introduction

Les systèmes hospitaliers et de santé constituent des organisations sociotechniques particulièrement complexes. Cette complexité s'explique non seulement par la technicité et la variabilité des actes, mais également par les spécificités mêmes de l'activité médicale et de la relation soignant-patient. Depuis bientôt dix ans, ces systèmes sont sujets à une mutation sans précédent. En effet, quelles que soient leur taille ou leurs missions, les systèmes hospitaliers ont dû faire face à la croissance de la demande de soins, au changement des comportements des usagers et à un ensemble de réformes : Plan Hôpital 2007 et 2012, nouvelle tarification à l'activité T2A, nouvelle gouvernance.

Pour l'ensemble des professionnels (médicaux, paramédicaux, administratifs, et techniques) cette mutation présente des facteurs de risques importants liés entre autres, à la perte de repères, à la remise en cause des référentiels métiers et à l'introduction de nouvelles fonctions. En effet, ces professionnels sont confrontés à des problèmes de complexité croissante comme par exemple : comment améliorer, sécuriser et optimiser les parcours des patients dans le contexte d'une prise en charge à domicile ? Comment améliorer la prise en charge des patients dans les systèmes distribués tels que : les réseaux de soins et la chaîne logistique globale de prise en charge aux urgences ? Comment conjuguer humanité et rentabilité, art médical et productivité ? Quelles nouvelles technologies de l'information et de la communication à adopter et comment les implanter en harmonie avec les spécificités de l'activité hospitalière ? Enfin, quelles seront les nouvelles organisations qui répondront aux nouvelles contraintes de durabilité ?

Dès lors, les réponses à ces défis se trouvent dans une démarche de « Logistique hospitalière », innovante, globale et scientifique, seule capable de répondre à ces problématiques. Ce chapitre présente cette démarche d'une manière générale.

## **I.2 Le secteur de la santé**

### **I.2.1 Contexte international**

Les systèmes hospitaliers et de santé de la majorité des pays développés rencontrent des difficultés liées à l'évolution importante de leur environnement économique et social, de leurs structures, ainsi qu'à l'accroissement des contraintes et de leurs missions (Pines et al. 2011 ; Schuur et Venkatesh, 2012 ; Nathan et al. 2008). Bien que ces systèmes puissent différer par leurs objectifs, leurs organisations et leurs principes de fonctionnement, les problématiques auxquelles ils sont confrontés sont similaires : formes nouvelles de maladies, évolution rapide des technologies médicales, vieillissement de la population et contraintes budgétaires.

Aux États-Unis, même avec un budget atteignant près de 16% du Produit Intérieur Brut (PIB), il est largement reconnu aujourd'hui que le système de santé ne fournisse pas des soins efficaces et souffre de l'importance des erreurs médicales et des interventions inutiles (Galvis-Narinos et al. 2009). Comme le rappelle Withmeur et al. (2012) dans un récent rapport sur le projet phare d'Obama pour la réforme du système de santé américain : *« Le système de soins de santé en vigueur aux États-Unis suscite de nombreuses interrogations en Europe. Il est le plus cher et le plus complexe de tous les pays de l'OCDE<sup>1</sup> sans être pour autant l'un des plus performants, ni en termes de santé publique, ni en termes de qualité des soins ou d'accessibilité »*. L'Académie des Sciences et l'Académie de Médecine aux États-Unis mettent en évidence la surutilisation ou la sous-utilisation des ressources, la duplication d'activités, la défaillance du système de production de soins et l'inefficacité de l'organisation (Reid et al. 2005).

En Europe, la majorité des pays s'est engagée depuis les années 90 dans des réformes de leurs systèmes de santé (Saltman et Figueras, 1997 ; Polton, 2012). Ces réformes se

---

<sup>1</sup> [www.oecd.org/fr/els/systemes-sante/Panorama-de-la-sante-2013.pdf](http://www.oecd.org/fr/els/systemes-sante/Panorama-de-la-sante-2013.pdf)

caractérisent par l'adoption progressive d'une perspective transnationale et interdisciplinaire afin d'améliorer la performance des systèmes de santé (McKee et Healy, 2002). Dans la plupart des cas, les débats concernant la réforme du système de santé portent essentiellement sur le droit et l'accès aux soins, les coûts, l'organisation et la qualité de ces soins. Par exemple, l'étude du National Research Council (Stead et Lin, 2009) estime que les facteurs explicatifs de cette situation sont :

- La mauvaise organisation des soins ;
- Un parcours patient, discontinu, compliqué, peu planifié et générateur de stress pour le patient ;
- La multiplicité des organisations, des acteurs de la santé et le manque de clarté dans les modes de paiement ;
- L'implantation insuffisante et non intégrée des technologies de l'information et de la communication.

Les recommandations préconisées par la majorité des études proposent notamment des collaborations fortes entre les professionnels de la santé, les chercheurs et les entreprises dans le domaine de l'ingénierie des systèmes. De même que l'utilisation des méthodes et des technologies qui ont fait leurs preuves dans d'autres domaines (industrie, télécommunications, ...). En effet, ces technologies présentent un fort potentiel d'amélioration du système de santé à tous les niveaux (patient, équipe de soins, organisation, environnement). Ces recommandations suggèrent surtout un point fondamental portant sur une démarche globale et intégrée dans l'utilisation des technologies de l'information et de la communication.

Ce constat rejoint le positionnement de l'Union Européenne sur les challenges en matière de santé, conforme à celle de l'OMS qui incite les établissements et organisations de soins à s'engager dans un processus de réorganisation de ses différentes missions : soins aux patients, recherche, enseignement, logistique et gestion des ressources humaines. L'impact des technologies de l'information et de la communication est également mis en évidence (Schabacker et al. 2013). L'ensemble de ces observations se retrouve également dans l'étude menée par l'Observatoire Européen de la Santé (*European Observatory on Health Care System*) (McKee et al. 2002).

### **I.2.2 Le contexte national**

Selon l'édition 2013 du Panorama de santé de l'OCDE, correspondant aux indicateurs des dépenses de santé en proportion du PIB, la France est aujourd'hui l'un des premiers pays d'Europe connu pour ses dépenses en santé : elle consacre 11,6 % de son PIB aux seules dépenses de santé. L'espérance de vie est supérieure à la moyenne des pays de l'OCDE et le taux de prise en charge par le régime général de l'assurance maladie s'élève à 77 %, un des plus importants des pays développés. Cependant, depuis les années 2000, de nombreux rapports et études ont dressé un tableau de l'état du système hospitalier et de santé français, qui se trouve selon les auteurs en crise morale, démographique et financière (Couanau, 2003 ; Molinier, 2005). Dans leur ouvrage, Guinet et al. (2008) ont donné une synthèse des facteurs explicatifs de cette situation et posé la question de la performance des systèmes hospitaliers en s'appuyant sur les grands principes du génie industriel.

Cette situation résulte en effet de l'accumulation progressive de contraintes nouvelles liées aux évolutions sociétales, démographiques et techniques, conjuguées à une forte rigidité des structures. Ainsi, les systèmes hospitaliers, les filières d'urgence et les réseaux de soins, rencontrent de plus en plus des difficultés à assurer leurs missions.

Depuis plusieurs années différentes formes de réponses, de nature financière et méthodologique, ont été proposées pour répondre à cette problématique : les plans de modernisation Hôpital 2007 et 2012. Le plan hôpital 2007 avait un triple objectif : pallier la vétusté des établissements, rapprocher financement/activité et améliorer le fonctionnement interne par un meilleur dialogue médecins-direction. Le plan hôpital 2012 se situe dans le prolongement du plan 2007. Il vise également trois objectifs : achever les mises aux normes des établissements, mettre à niveau le système d'information hospitalier, poursuivre la recomposition hospitalière et la mise en œuvre des Schémas Régionaux d'Organisation Sanitaires (SROS).

Plusieurs aides méthodologiques ont également été élaborées et, pour accompagner cette transformation, l'État français a mis en place un réseau d'agences et d'organismes qui proposent aujourd'hui aux établissements souhaitant se réorganiser des guides méthodologiques et de bonnes pratiques, thématiques ou fonctionnels. Nous pouvons citer par d'exemple l'ANAES (Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en

Santé, devenue depuis 2005 la HAS : Haute Autorité de Santé), qui a proposé plusieurs listes méthodologiques avec des recommandations et des documents méthodologiques. La Fédération Hospitalière de France (FHF) a proposé plusieurs guides, le Groupement pour la Modernisation du Système d'Information Hospitalier (GMSIH) a publié plusieurs documents et guides relatifs aux systèmes d'information hospitaliers, au pilotage des établissements de santé et à la conduite du changement.

Plus récemment, des rapports proposent une mutation de l'hôpital, de sa gouvernance et, plus globalement, du système de santé français<sup>2</sup>. Ces propositions se sont concrétisées par le « *Projet de loi portant réforme de l'hôpital et relatif aux patients, à la santé et aux territoires* »<sup>3</sup>.

Le secteur hospitalier et de la santé est ainsi confronté à de nouveaux défis et le sera plus intensément encore dans les prochaines années (gouvernance, pilotage, organisation, coopération intra et inter hospitalière, optimisation des ressources, évaluation de performance, etc.).

Le maintien de la qualité et de l'accessibilité pour tous aux soins constitue un élément clé de croissance et de développement durable et reste une préoccupation majeure. Cependant, les acteurs du secteur hospitalier et de santé sont relativement peu préparés et peu formés pour résoudre les problèmes nouveaux auxquels ils sont et seront confrontés. Il apparaît que ces acteurs sont démunis en méthodologies et outils d'aide à la décision et de pilotage adaptés aux exigences qu'impliquent les modes de fonctionnement futurs du système hospitalier et de santé. Parmi ceux-ci, on peut citer par exemple, la maîtrise des difficultés liées à la restructuration des centres hospitaliers qui se traduit, en interne, par la mutualisation des ressources comme les plateaux techniques, et en externe par la mise en réseaux des centres hospitaliers et la réponse efficiente à une forte variété de flux et de processus (i.e., patients, informations, produits, équipements).

---

2

- [LAR, 2008] Rapport de la commission de concertation sur les missions de l'hôpital, présidée par M. Gérard Larcher. Avril 2008.
- [VAL, 2008] Vallancien G. Rapport "Réflexions et propositions sur la gouvernance hospitalière et le poste de président du directoire. 10 Juillet 2008.

3

- [LEG, 2009] Legrand J.M. Rapport portant réforme de l'hôpital et relatif aux patients, à la santé et aux territoires. Rapport N° 1441, Assemblée Nationale. 5 février 2009.
- [AA, 2009] Projet de loi portant réforme de l'hôpital et relatif aux patients, à la santé et aux territoires. Assemblée Nationale. 11 mars 2009.

### **I.2.3 Le contexte régional**

Les problèmes évoqués précédemment touchent naturellement la Région Nord-Pas-de-Calais, aggravant une situation sociale déjà difficile.

Malgré les efforts importants consentis (une enveloppe de 76,5 millions d'euros dans le cadre du PRSP (Plan Régional de Santé Publique 2007-2011) et, parallèlement, une nette amélioration des problèmes de santé, la Région Nord-Pas-de-Calais demeure une région présentant des indices comparatifs avec la moyenne française, financiers et sanitaires, très peu satisfaisants<sup>4</sup>.

Ainsi, la dotation par habitant est l'une des plus faibles de France et la Région Nord - Pas-de-Calais se situe en dessous des régions les mieux financées. Alors que la charge est plus forte qu'ailleurs, les moyens humains et financiers sont plus faibles.

Par ailleurs, la région affiche des taux records dans pratiquement toutes les pathologies par rapport à la moyenne nationale : cancer (cancer du sein : +32 %, des voies aérodigestives : +81 %, du poumon : +22 %), maladies cérébro-vasculaires (+15 %), maladies cardio-vasculaires (+50 %). Les taux de mortalité sont les plus élevés de France et une surmortalité importante chez les moins de 65 ans.

L'accès à des soins de qualité reste inégal sur l'ensemble de notre territoire et les disparités sociales ou régionales en matière d'espérance de vie demeurent préoccupantes : neuf ans de différence d'espérance de vie, à 35 ans, entre un cadre et un manœuvre, cinq ans entre un homme vivant dans le Nord-Pas-de-Calais et un autre vivant en Île-de-France.

L'offre médicale n'est pas adaptée à la situation de la région. Les généralistes sont mal répartis et on note une très forte carence en spécialistes (-30 % par rapport à la moyenne nationale) dans de nombreux domaines comme l'ophtalmologie et la pédiatrie. Conséquence de cette carence : des délais de rendez-vous de plusieurs mois qui expliquent le recours aux services d'urgence.

On peut noter cependant que les effets de la mise en œuvre du PRSP 2007 - 2011 (Plan Régional de Santé Publique) laisse envisager, à moyen terme, une amélioration sensible

---

<sup>4</sup> [VNORD, 2007] L'état de santé dans le Nord - Pas de Calais. Dossier La Voix du Nord. Mars 2007

de la situation résultant de la politique volontariste de la Région, notamment en termes d'équipements hospitaliers.

On constate également que la prise de conscience de l'enjeu majeur que représente la maîtrise de l'organisation globale de la santé et du parcours des patients, est de plus en plus forte. Cette maîtrise est conditionnée par des impératifs de contrôler conjointement les dépenses de santé, les risques et de la qualité des soins. Mais, le système hospitalier et de santé est complexe. Maîtriser toutes les facettes de son fonctionnement constitue un problème majeur. C'est pourquoi, atteindre le niveau de performance nécessaire est un défi à relever qui appelle une réponse globale.

Les besoins pour réussir l'évolution du système hospitalier et de santé sont donc multiples. Les établissements et organisations de soins et de santé expriment de véritables attentes en termes de méthodes et d'outils, à tous les niveaux : stratégique, tactique et opérationnel pour la mise en œuvre des réformes actuelles.

#### **I.2.4 L'émergence de besoins nouveaux**

L'analyse des dysfonctionnements des systèmes hospitaliers et de santé, notamment ceux observés dans les services hospitaliers et les filières de soins, montre qu'ils sont dus en partie à une organisation mal adaptée aux contraintes et à l'évolution de leurs missions et à une mauvaise gestion des flux patients (Rapport Clomblier, 2007 ; Gentil, 2012). Ainsi, l'optimisation de l'organisation et des systèmes d'information constituent deux des leviers importants pour la réussite de cette évolution. Plus généralement, la mise en place de systèmes de pilotage, stratégique, tactique et opérationnel des systèmes de production de soins et de santé est maintenant incontournable.

Pour réussir cette mutation il est impératif de définir les nouveaux paradigmes organisationnels, les nouveaux métiers pour la gouvernance et le pilotage de ces nouvelles organisations ainsi que les mécanismes d'accompagnement et d'appropriation.

La reconfiguration et l'amélioration du système de soins et de santé nécessitent une « réorganisation de rupture ». Ce sont des problèmes dont la complexité appelle une

approche innovante, globale et scientifique. C'est donc une réelle démarche « Logistique en santé » est la seule capable de répondre à cet objectif qui doit prévaloir.

### **I.3 Les systèmes d'information hospitaliers et de santé**

Les systèmes d'information hospitaliers et de santé sont considérés comme une pièce maîtresse du système de soins (Fabre-Costes et Romeyer, 2004). L'un des enjeux actuels est de permettre, à l'aide de systèmes d'information performants et interopérables, les échanges d'informations entre les différents acteurs permettant d'améliorer le suivi, l'évaluation et le pilotage des activités du processus de prise en charge du patient. Il s'agit alors de mettre en œuvre des réseaux permettant l'interopérabilité sémantique et le travail collaboratif pour des applications médicales distribuées prenant en compte les spécificités du domaine (fiabilité vitale des informations, spécificité de certains acteurs, existence d'activités itinérantes, multiplicité des sources d'informations, informations utilisées par de nombreux acteurs etc.

Ces systèmes peuvent concerner notamment le circuit du médicament, le pilotage médico-économique (T2A), la classification commune des actes médicaux, le suivi d'indicateurs, etc.), la communication externe (télémédecine, réseaux ville-hôpital, l'imagerie, la HAD, etc.) et interne (accès au dossier du patient, accès à l'information et à l'image, etc.). Ils posent de nombreux problèmes de conception et de mise en œuvre, d'utilisabilité, d'appropriation et d'acceptation des applications par les utilisateurs.

#### **I.3.1 La logistique intra et inter hospitalière**

La logistique, activité transversale, est une fonction majeure dans la gestion des flux (patients, produits et équipements), au sein des systèmes hospitaliers et de santé. Elle a pour objectif l'identification et l'optimisation des différents flux. On distingue notamment :

- La logistique de coopération inter-hospitalière de proximité il s'agit de l'organisation de la coopération entre structures distinctes : campus hospitaliers mixtes « public/privé », sous-traitance laboratoires/imagerie.

- La logistique intra-hospitalière qui porte sur l'organisation (ou la réorganisation) des flux essentiellement internes comme dans le cas de l'extension d'un bâtiment ou de la construction d'un nouveau.

### **I.3.2 La planification intra et inter hospitalière**

La planification doit permettre la coordination et la cohérence des activités exercées au sein des systèmes hospitaliers et de santé en considérant globalement ces activités à différents niveaux :

- Planification inter-hospitalière à l'échelle régionale : pool régional de ressources humaines partagées entre plusieurs entités, gestion des lits vacants, gestion de crises comme le « plan blanc »,
- Planification inter-hospitalière de proximité : planning de modalités partagées entre hôpitaux publics, pool local de ressources humaines partagées entre plusieurs entités, planning de modalités partagées sur un campus mixte public/privé,
- Planification intra-hospitalière : gestion du temps médical, planification de blocs, de ressources partagées au sein d'un hôpital comme les centres de rééducation.

### **I.3.3 Le management de la qualité**

Le fameux rapport « *Crossing the quality chasm* » publié en 2001 par l'*Institute of Medicine* définit les soins axés sur le patient comme l'un des principaux domaines de la qualité. Dans cette perspective, l'organisation hospitalière est plus que jamais appelée à s'inscrire dans la logique d'innovation organisationnelle basée sur l'amélioration continue de la qualité de ses prestations, la réduction des coûts de fonctionnement/durée de séjour, en respectant les exigences croissantes et pressantes des partenaires politiques, sociaux et économiques [SUF, 2012].

Les années 90 ont vu se développer des démarches qualité dans les établissements de santé sous forme de programmes basés sur des référentiels normatifs (ISO 9000), professionnels (HAS en France, JCAH aux Etats -Unis) dans le cadre de la régulation de l'offre de soins. Mais, le concept d'innovation dans l'organisation hospitalière s'est

souvent focalisé sur la diversification de l'offre de soins au détriment d'un déficit organisationnel. Ce faisant, cette organisation a rarement intégré l'innovation organisationnelle pouvant faire face au cloisonnement régissant ses structures. Néanmoins, depuis le lancement en 2001 par l'OCDE du projet sur les indicateurs de qualité des soins de santé *Health Care Quality Indicators* (HCQI), mené en partenariat avec des organisations et des pays à la pointe dans ce domaine, plusieurs avancés ont été enregistré, notamment par la mise en place d'un cadre conceptuel et une base méthodologique pour fournir les informations nécessaires sur la qualité.

### **I.3.4 L'évaluation des performances**

L'évaluation des performances du système de soins et de santé, doit s'appuyer sur des méthodes et outils scientifiques, qui permettront :

- L'évaluation de l'activité de santé visant l'indexation de contenus et la gestion de ressources documentaires et bibliographiques appliquées à la normalisation des index, sites web sémantiques et thématiques,
- La formalisation et l'inférence de la connaissance médicale pour l'élaboration d'ontologies, de bases de cas, de bases de connaissances, de thésaurus, de guides de bonnes pratiques qui seront exploités pour la modélisation des recommandations issues des textes de guide de bonnes pratiques cliniques, la mise en œuvre de thésaurus robustes et sans biais pour l'aide au codage, pour la conception de systèmes d'alertes et de prévention, pour la recherche de trajectoires des patients.

Une politique volontariste centrée autour de la logistique hospitalière est donc indispensable pour répondre aux besoins des acteurs du système de santé et les aider dans l'accomplissement de l'évolution nécessaire du système de santé.

### **I.3.5 Les enjeux**

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 l'HAS 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. Ces établissements doivent aussi mettre en œuvre le PMSI 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, même si lorsqu'il s'agit de la prise en charge de patients le critère qualité domine les deux autres en raison de son lien direct avec la sécurité du patient (Minvielle, 1998; SUF, 2012). En conséquence, 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. Dans ce qui suit, nous expliquons trois des caractéristiques clés de cette mutation.

#### **I.3.5.1 Maîtrise des dépenses de santé**

Le système de soin français est de plus en plus coûteux et on note une augmentation constante des sommes allouées aux dépenses de santé. Ces dépenses sont attribuées essentiellement à la Consommation de Soins et Biens Médicaux (CSBM). D'après les estimations de l'INSEE basée sur le travail de la DREES [DREES, 2008] en 2008, près de 170,5 milliards d'euros ont été consacrés au financement de la CSBM.

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. Cette 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.3.5.2 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 couvre 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 soins, effectué par des professionnels indépendants de l'établissement et de ses organismes de tutelle, et concerne 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 termes de matériel, de processus ou de qualification du personnel. La qualité se définit également comme l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou 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'auto-évaluation doivent être l'occasion de repenser les organisations. Il s'agit là d'un véritable enjeu financier, car la démarche qualité évite les dysfonctionnements coûteux.

Au final, la qualité peut être 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, 2009).

### **I.3.5.3 Optimisation des ressources**

Le secteur de la santé fait 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 (Mazier, 2010). 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 services d'urgence.

## **I.4 Les services des urgences hospitalières**

Aujourd'hui, les services des urgences hospitalières (SUH) occupent une place stratégique au sein des systèmes de soins modernes et représentent la principale porte d'entrée à l'hôpital (Kadri et al. 2013; Bellou et al. 2003). Ce rôle clé est appelé à se renforcer dans les années futures en raison de la croissance soutenue depuis des décennies du nombre de passages aux services des urgences de la part des patients qui sont de plus en plus exigeants (Cooke et al. 2004). Ces changements posent de nombreux problèmes aux différents acteurs de la santé publique, notamment des problèmes de fonctionnement pour faire face à cette augmentation des consultations et un coût non négligeable dans les dépenses de santé (Benjamin et al. 2013 ; Cooke et al. 2004 ; Derler et al. 2000 ; Pines et al. 2011 ; Schuur et Venkatesh, 2012 ; Nathan et al. 2008). En revanche, si la majorité des systèmes de soins dans le monde sont confrontés à cette réalité, les modes d'y faire face diffèrent d'un pays à un autre dans la mesure où le système de soins est souvent le fruit de son histoire dans chaque pays (Pines et al. 2011 ; Galvis-Narinos et Montélimard, 2009 ; Witmeur et al. 2012). Ainsi, pour mieux comprendre les problèmes et les enjeux actuels, il importe d'abord de replacer les services d'urgences dans leur contexte général pour appréhender leur fonctionnement et leurs caractéristiques propres.

En effet, la question en France est toujours d'actualité et les urgences hospitalières sont prises en compte au plus haut niveau au sein des organismes nationaux. La DAREES a lancé en 2013 une enquête nationale sur les structures des urgences hospitalières. Cette enquête est destinée à décrire la genèse du recours des patients aux urgences

hospitalières, les difficultés éventuelles rencontrées lors de leur prise en charge. De son côté la Cours des Comptes consacre dans son rapport de 2014 [CC, 2014], sur la sécurité sociale un chapitre entier aux urgences hospitalières en soulignant leur fréquentation et la nécessité de repenser l'articulation de ces structures typiques de santé avec la médecine de ville.

Dans cette section, sont mises en évidence les spécificités du système français des soins et de ses conséquences sur l'organisation et le fonctionnement des SUH d'une manière générale et, particulièrement, les services d'urgences pédiatriques, qui sont l'objet principal de ce travail. Nous discuterons également des problèmes et des enjeux spécifiques à ces derniers dans la mesure où le quart des urgences en France sont des urgences pédiatriques.

#### **I.4.1 La place des Services d'Urgences Hospitalières dans le système de santé français**

Le Code de la Santé Publique, et plus précisément le Décret n° 95.647-48 du 9.05.95 relatif à l'accueil et au traitement des urgences dans les établissements de santé, précise toutes les missions de ces services. Il s'agit d'une mission caractérisée par:

- L'accueil : « *accueillir sans sélection vingt-quatre heures sur vingt-quatre, tous les jours de l'année, toute personne se présentant en situation d'urgence, y compris psychiatrique, et la prendre en charge, notamment en cas de détresse et d'urgence vitale* » ;
- La traduction, la définition de la demande, la qualification des besoins du patient grâce à un travail d'analyse des symptômes ;
- La préservation de la vie, la stabilisation d'un état grâce aux soins, et aux « *gestes diagnostiques et/ou thérapeutiques urgents* », adaptés à la situation.
- L'orientation du patient au bon moment, dans la bonne filière, vers les bons services ;
- L'hospitalisation de courte durée dans certains cas, selon les ressources et les capacités d'accueil et selon le projet d'établissement.

La mission des services des urgences s'inscrit donc dans un cadre réglementaire fourni et évolutif qui va de la définition de la mission aux conditions techniques de

fonctionnement, en passant par la fixation du seuil des activités. La taille et la périodicité des changements dans ce cadre réglementaire démontrent une recherche permanente d'adaptation et une dépendance des services d'urgences vis-à-vis de la réglementation.

#### **I.4.2 Les services d'urgences : un maillon pivot et une situation alarmante**

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). Cependant, la notion d'urgence dans le domaine médical reste là encore source d'une grande ambiguïté. En effet, elle est subjective du point de vue du patient, mais elle ne le saurait l'être pour les professionnels de l'urgence.

D'une revue de la littérature (voir tableau I.3), il n'est pas difficile de voir que s'il y ait un consensus il se résume dans le fait qu'une « urgence » requiert une action et une décision immédiate. Définir ce qui est qualifié « d'urgence » reste donc une tâche complexe (SFMU, 2008a). Selon Aubert (2003, p.19), il s'agit d'une notion aux contours enchevêtrés qui traduit la nature des rapports entre l'Homme et le Temps. Ces rapports sont depuis toujours, complexes, insaisissables et tumultueux. Sur le sujet nous trouvons une multitude de définition du concept d'urgence dans le domaine de la santé. Le tableau ci-dessous reprend, à titre indicatif, certaines de ces définitions données par différents auteurs et/ou organismes.

| <b>Définitions</b>                                                                                                                                                                                                        | <b>Sources</b>      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 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».                          | SFMU (2001)         |
| Urgence vitale doit bénéficier de la prise en charge la plus précoce possible, qu'elle survienne dans les services de soins, d'investigations ou dans tout autre secteur accessible au public au sein d'un établissement. | SFAR (2004)         |
| L'urgence véritable, conduisant à une médecine d'urgence ponctuelle et bien codifiée, risque d'occulter l'urgence ressentie, c'est-à-dire un réel problème de fond à prendre également en compte.                         | Alvin et al. (2005) |
| « Les urgences sociales font partie du service public de l'urgence ».                                                                                                                                                     | SFMU (2008a)        |

**Tableau I.1** : Définitions du terme urgence, *adaptée de Glaa (2009)*

Toutes les définitions du terme « urgence » que nous avons citées soulignent qu'il est indispensable d'intervenir immédiatement quel que soit le type d'urgence et qu'il est nécessaire de répondre à toute demande de prise en charge même si cette dernière est non programmée et ne relève pas d'une détresse vitale, quel que soit la gravité du problème. Ainsi, qu'elle soit médicale, vitale ou sociale, le caractère de ce qui est urgent fait référence à trois éléments essentiels :

- Une situation donnée,
- Un jugement porté sur cette situation,
- Une action immédiate tendant à remédier à cette situation.

En conséquence, une situation est dite « urgente » parce qu'elle est jugée grave et elle appelle une réponse rapide. Elle est souvent subjective et intimement liée au système de valeurs de la personne qui énonce le jugement d'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 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, 2008b).

En somme, la structure d'urgence est devenue aujourd'hui un maillon pivot de la chaîne de prise en charge des patients dans les systèmes de santé (Bellou et al. 2003). Les structures d'urgences ont été affectées par les mutations qui ont touché les systèmes hospitaliers. A ces mutations vient s'ajouter l'afflux régulièrement croissant des patients qui entraîne l'encombrement et des perturbations dans le fonctionnement de ces structures (Derler et Richards, 2000 ; Kadri et al. 2013 ; Sun et al. 2013). 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 (Slote et al. 2012). Comme le souligne Glaa (2008), 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 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.

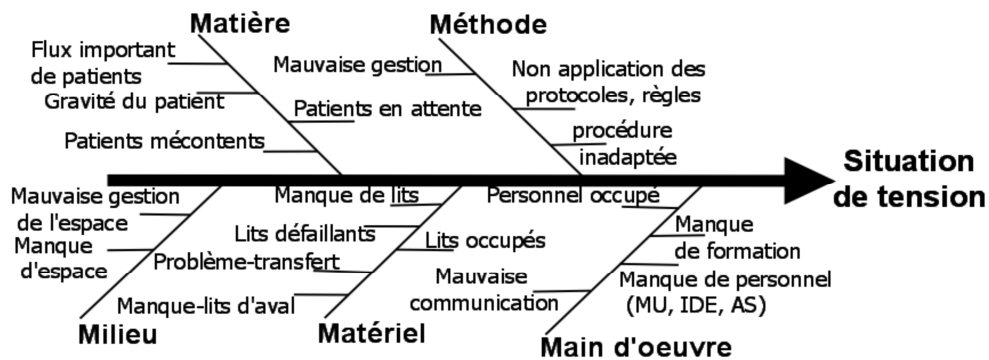
### **I.4.3 La persistance de risques de tension dans les services des urgences**

D'une revue de la littérature, force est de constater que malgré l'existence d'un accord explicite entre les chercheurs dans le monde sur l'ampleur et la gravité de l'accroissement soutenue de la fréquentation des services d'urgences et ses conséquences, le débat se poursuit encore à propos de la définition et des mesures appropriées de cette situation de « tension » (Moskop et al. 2009 ; Carter al. 2014). Dans la littérature francophone, nous trouvons que les chercheurs emploient les termes tels que : *congestion*, *surpeuplement* et *engorgement* (Maziez, 2010) voire même de *tension* ou de *crise* (Kadri et al. 2012). Dans la littérature anglophone, nous trouvons essentiellement deux termes largement partagés par la communauté des chercheurs : *Crowding* et *Overcrowding* (Moskop et al. 2009). Quoiqu'il en soit des termes utilisés dans la littérature, il s'agit d'une situation qui traduit les conséquences d'un déséquilibre dans les interactions entre l'offre et la demande des soins dans les services d'urgence. Ce déséquilibre est systématiquement générateur de tension dans les différentes unités d'un service d'urgence. Par conséquent, nous utiliserons dans le cadre de notre recherche le terme « tension » pour désigner les conséquences de cet état d'engorgement. Dans la littérature, il n'existe pas de définition de la tension qui soit unanimement acceptée par les chercheurs (Fee et al. 2007), et sa signification peut varier d'un organisme à un autre, en fonction du contexte et des informations disponibles (Trzeciak et Rivers 2003; Rowe et al. 2006 ; Hoot et Aronsky, 2008). **Le concept de tension, appliqué au processus de soin, est défini dans le cadre de notre travail comme le déséquilibre entre le flux de la charge de soins des patients et la capacité d'accueil de l'établissement (les urgences ou l'hôpital) pendant une durée suffisante pour entraîner des conséquences néfastes au bon fonctionnement. Il demeure cependant crucial de comprendre les causes de cette tension pour y remédier.**

Dans cette perspective, Asplin et al. (2003) ont élaboré un modèle conceptuel permettant de comprendre ces causes tout au long du processus de soins. Certaines recherches ont repris ce modèle (Hoot et Aronsk, 2008 ; Mazier, 2010) pour identifier les causes que les auteurs les regroupent en trois catégories :

- Les problèmes dus au flux entrant (*input*)
- Les problèmes rencontrés lors du traitement dans le SU (*throuput*)
- Les problèmes dus au flux sortant (*out put*)

De son côté Kadri et al. (2013) et sur la base d'un diagramme cause-effet, ils ont identifié les principales causes de tensions dans un service d'urgences



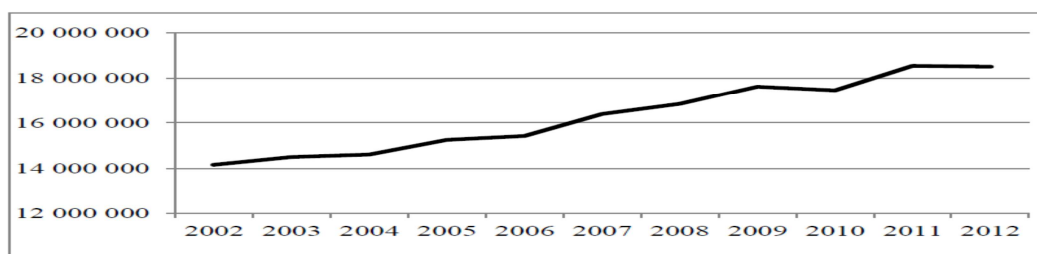
**Figure I.1 :** Les causes de la tension dans les urgences selon Kadri et al. (2013)

Le but recherché de ces travaux est non seulement de comprendre les causes et les conséquences de l'engorgement des services d'urgence, mais surtout la recherche d'une méthode permettant de décongestionner un service surchargé. D'une manière générale, la logique et la raison veulent que les patients en urgence soit affecté rapidement là où le personnel est le plus compétent : dans l'unité relevant du domaine de la pathologie. Pour cela, il importe de souligner que la distinction entre les trois groupes de flux ne doit pas inciter à penser le cloisonnement des unités de soins au sein d'un service d'urgence. Au contraire, les unités des services d'urgences ont un grand besoin d'interopérabilité et de capacité prédictive afin de permettre un écoulement des patients qu'elles traitent. **Interopérabilité** et **Anticipation** appliquée aux services des urgences peuvent permettre de réduire les coûts, d'améliorer l'accès aux soins de qualité pour les patients. Concrètement, si la prise en charge des patients dans les urgences est un problème de tous les jours, son amélioration nécessite des règles de bonnes pratiques à suivre. Parmi ces règles, nous pouvons citer une qui consiste à faire effectuer les sorties des patients le plus tôt possible. Cette règle, pour être applicable, doit passer presque nécessairement par une anticipation de la sortie d'un patient. La communication entre

les médecins et le personnel paramédical, et notamment les services administratifs, doit être existante et efficace pour permettre une telle anticipation.

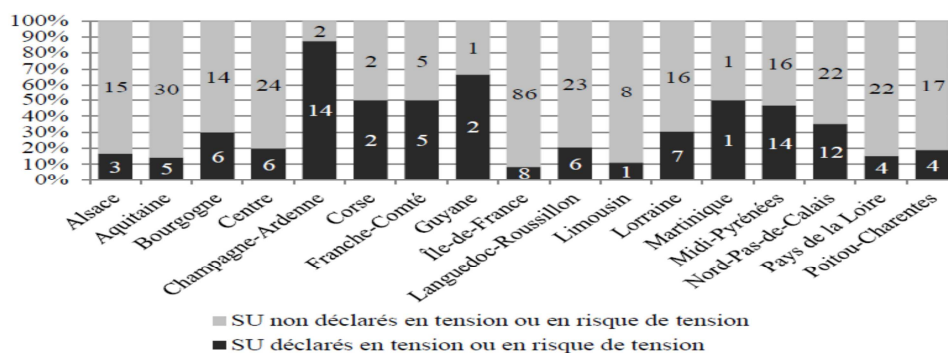
### I.4.3.1 La tension dans les SU français

En France, le rapport de la Cour des Comptes<sup>5</sup> dans le chapitre sur les urgences hospitalières souligne que malgré les moyens déployés dans le cadre du plan urgences 2004-2008 des difficultés sont encore constatées dans le fonctionnement de ces services. Ces difficultés (figure I.3), précise le rapport, résultent désormais *moins d'un manque de moyen financiers que de la capacité des établissements à améliorer leur organisation interne*



**Figure.I.2:** Evolution du nombre de passages aux urgences

Par ailleurs, les résultats de l'enquête réalisée en 2013 par le ministère de la santé auprès des agences régionales de santé révèlent que 100 établissements, pour l'essentiel des centres hospitaliers mais aussi des CHU, étaient identifiés par les ARS comme étant « en tension » ou « en risque de tension », avec de fortes variations régionales (figure I.4).



**Figure.I.3:** Nombre de services d'urgence déclarés « en tension » ou « en risque de tension » au regard du nombre total de services novembre 2013 (Sources : Rapport de la Cour des Comptes, 2014)

<sup>5</sup> Sécurité sociale 2014 - septembre 2014. Cour des comptes - [www.ccomptes.fr](http://www.ccomptes.fr)

## **I.5 Les Services des Urgences Pédiatrique : Réalité et enjeux**

Au cours de la dernière décennie plusieurs mesures ont été prises pour restructurer les urgences des hôpitaux. Elles ont essentiellement concerné aussi bien les urgences d'adultes que ceux dédiés aux enfants. Comme le rappelle Hue et al. (2008) de nombreuses réformes au cours des dernières décennies ont contribué à modifier profondément l'organisation et les moyens des structures d'urgences, en particulier les Urgences pédiatriques. Cette dernière a suscité un intérêt croissant auprès des chercheurs et ce depuis le milieu des années 90 aussi bien en France, que dans le reste des pays européens.

### **I.5.1 Problèmes et enjeux des services des urgences pédiatriques**

En France, la reconnaissance des Services des Urgences Pédiatriques est bien acquise aujourd'hui et s'intègre dans le schéma régional d'orientation sanitaire urgences (arrêté le 30/03/2006) et le schéma régional d'organisation sanitaire enfants et adolescents (arrêté le 20/10/2007). En effet, la mise en place d'une structure dédiée exclusivement aux Urgences Pédiatriques (les Services d'Urgences Pédiatrique-SUP) repose sur la nécessité que ces enfants soient accueillis dans des locaux spécifiques par un personnel médical et paramédical familiarisé et disposant d'un matériel adapté à l'enfant. Le besoin d'adaptation est de mise dans le cas de la prise en charge des enfants et de leur famille est d'autant plus vrai que l'enfant est jeune. Ce besoin s'explique également par le nombre important des enfants accueillis dans les urgences des hôpitaux. Face à la croissance soutenue du nombre des consultations pédiatriques urgentes, plusieurs études ont été réalisées depuis le milieu des années 90 pour comprendre les causes et les conséquences afin de contribuer à l'amélioration des organisations des urgences pédiatriques.

Depuis plusieurs années en France (Devictor et al. 1997 ; Stagnara et al. 2004 ; Breant, 2013), comme en Europe ou ailleurs (Ellbrant et al. 2015 ; Whitney et al. 2014 ; Nathan et al. 2008), la demande de soins pédiatriques urgents augmente jusqu'à engorger l'ensemble des systèmes de soins (pôles pédiatriques hospitaliers, pédiatrie libérale,

systèmes de garde). Certaines études parlent d'inflation, alors que d'autres mettent en évidence les problèmes des fausses urgences ou encore les « urgences ressenties ».

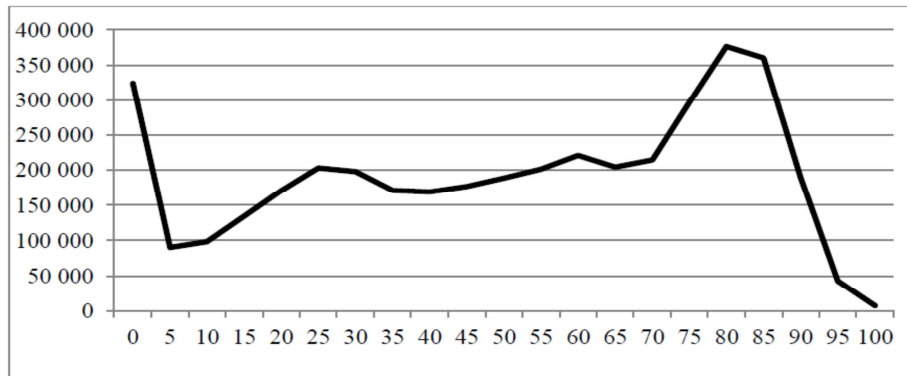
Dans la plupart de ces études, l'accent est toujours mis sur le poids des consultations des enfants aux urgences et estiment qu'elles représentent entre 25 et 30 % des urgences hospitalières au niveau national (Bréant, 2013). Même si la majorité de ces consultations se fait en médecine libérale, un nombre non négligeable de patients se tourne vers les services d'urgences hospitalières aboutissant à une saturation et pose des problèmes spécifiques à toutes les structures d'urgences hospitalières.

Aujourd'hui en France, cette question est toujours d'actualité. En effet, selon Armengaud (2002): *« Alors que l'état de santé de la population des enfants s'est considérablement amélioré, réduisant de manière significative le nombre d'hospitalisations et la durée des séjours hospitaliers, le recours aux urgences « explose ».* Comme le souligne Bréant (2013), le même constat est confirmé aujourd'hui par les acteurs des urgences pédiatriques: une augmentation de la fréquentation des urgences est observée partout. Ce nombre croissant de passages aux urgences pédiatriques pose de nombreux problèmes, notamment des problèmes de fonctionnement pour absorber le flux de consultations et un coût non négligeable dans les dépenses de santé. Les nourrissons de moins d'un an ont recours aux urgences trois fois plus souvent que la population générale. De même, 48% des parents ont recours à un dispositif d'urgence au moins une fois au cours de la première année de vie de leur enfant.

Le corollaire c'est que la situation de la pédiatrie dans les services des urgences est à la fois considérable, complexe et coûteuse. Elle est considérable dans la mesure où entre 25 et 30 % des structures des urgences au niveau national concernent les enfants. Elle est complexe de par le processus de prise en charge qui implique trois acteurs : une équipe médicale, un enfant et ses parents (Bréant, 2013). Enfin, elle est coûteuse dans la mesure que si les passages aux urgences pédiatriques ne font qu'augmenter, le nombre total des urgences semble aujourd'hui plafonner. Ainsi, à défaut de démarche visant à optimiser les moyens, il serait impératif d'allouer des ressources complémentaires qui deviennent de plus en plus rares.

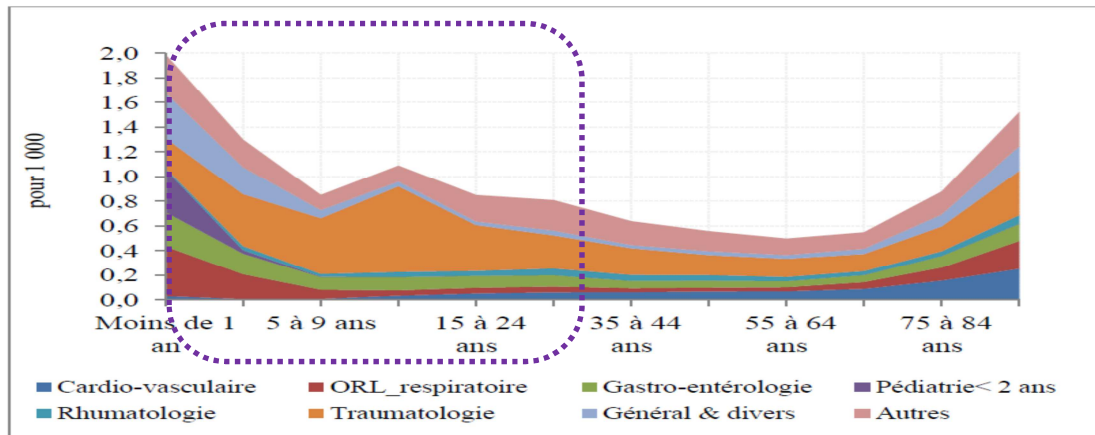
### I.5.2 Des risques de tension aux services d'urgences pédiatrique

Malgré les efforts déployés, les services des urgences pédiatriques présentent des problèmes similaires aux services d'urgences Hospitalières. D'ailleurs, le rapport de la Cour des Comptes de 2014 souligne la gravité de la situation pour les urgences pédiatriques, notamment pour les moins d'un an (fig. I.5).



**Figure.I.4:** Nombre d'hospitalisations faisant suite à un passage aux urgences par classe d'âge de cinq ans en 2012 (Source : le rapport de la Cour des Comptes 2014)

Pour une partie des patients, le motif de recours est lié à l'aggravation rapide d'une pathologie connue qui aurait pu être prise en charge plus tôt.



**Figure.I.5:** Taux de recours aux urgences par motif et âge du patient (Source : DREES Enquête Urgences juin 2013)

Comme le souligne Boisguérin et Valdelièvre (2014), les taux de recours sont particulièrement importants aux âges extrêmes de la vie, notamment chez les moins de un an (2 ‰), contre (1,5 ‰) chez les plus de 85 ans, avec une moyenne de (0,8 ‰)

pour l'ensemble de la population. Les raisons du recours aux urgences varient fortement en fonction de l'âge des patients. Pour les enfants (moins de 15 ans) se sont surtout des pathologies de la sphère ORL-respiratoire, gastro-entérologiques et traumatologie (fig.I.6).

Au-delà des difficultés communes au système hospitalier d'une manière générale, les services d'urgences pédiatriques, au même titre que les urgences adultes, présentent certaines caractéristiques spécifiques de nature organisationnelle, notamment :

- **Allongement du temps d'attente :** La réduction du temps d'attente aux urgences est reconnue comme un objectif pertinent et constitue un indicateur de qualité pertinent pour ces structures. La prolongation du temps d'attente relève avant tout du ressenti des patients, particulièrement des plus fragiles. Ainsi, l'engorgement des urgences induit des temps d'attente parfois excessif et engendre l'insatisfaction des usagers (Glaa, 2008). Des recherches ont permis d'établir le lien entre temps de passage et la qualité de la prise en charge. Selon Colombier (2007), le temps de passage constitue un indicateur composite qui permet de rendre compte de la capacité d'un service à s'adapter à ce qui se produit en amont comme en aval, et à ses contraintes propres.
- **Des pics d'activité :** L'une des caractéristiques de l'activité au SUP réside dans le fait qu'elle présente très souvent des pics d'activité. Ces deux dernières sont de deux types (Daknou, 2011) : les pics d'activité intrinsèques au service et les pics d'activité extrinsèques correspondent à l'admission de nouveaux patients dans ces services. La première catégorie des pics dépendent essentiellement des modifications de l'état clinique des patients. La seconde catégorie s'explique par le fait que les admissions dans les services d'urgence ne sont pas programmées et par conséquent, le flux des malades vers le SUP est irrégulier. Cette irrégularité empêche toute planification à priori et pose des problèmes difficiles d'organisation aux responsables de ces unités.
- **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.

Une forte dispersion du nombre moyen de patients pris en charge chaque jour aux urgences est observée : pour 28 % des structures, moins de 40 passages quotidiens; pour 43 % de 40 à 80 ; pour 18 % de 80 à 120 et pour 11 % plus de 120 passages quotidiens (tableau 1).

| Etablissements           |     | Urgences    |     | Passages quotidiens |       |        |      |
|--------------------------|-----|-------------|-----|---------------------|-------|--------|------|
|                          |     |             |     | <40                 | 40-80 | 80-120 | >120 |
| Public                   | 494 | Générales   | 479 | 116                 | 179   | 109    | 75   |
|                          |     | Pédiatrique | 106 | 43                  | 48    | 11     | 4    |
| Privé à but non lucratif | 41  | Générales   | 41  | 12                  | 23    | 6      |      |
|                          |     | Pédiatrique | 4   | 1                   | 3     |        |      |
| Privé à but lucratif     | 120 | Générales   | 119 | 37                  | 72    | 8      | 2    |
|                          |     | Pédiatrique | 1   |                     |       |        | 1    |

**Tableau.I.2:** Dénombrement des structures d’urgences hospitalières en fonction du statut des établissements de santé, du type d’autorisation, du nombre de passages quotidiens DREES 2013

L’ensemble de ces éléments invite à réfléchir sur les modes gestion des flux des patients dans les services des urgences pédiatriques tout au long du parcours, de la prise en charge des patients affluant jusqu’à la sortie. C’est pour toutes ces raisons que le service des urgences, par sa complexité, fait l’objet depuis quelques décennies de nombreux travaux traitant des problématiques liées à la modélisation, la simulation et l’optimisation du flux de patient.

## I.6 Problématique de recherche : Projet ANR HOST

### I.6.1 Présentation du projet

Notre équipe OSL du laboratoire CRISTAL a initié et monté un projet ANR baptisé HOST « Hôpital : Optimisation, Simulation et évitement des Tensions » en rassemblant 7 partenaires (LAGIS, LIMOS, CERIM, CIS, CHR, Alicante). Ce projet qui a été

accepté et financé par l'ANR TecSan (réf : ANR-11-TECS-010) a débuté le 1/01/2012 et se termine le 30/05/2015. Le projet HOST a pour but d'étudier et développer la modélisation et la mise en œuvre d'un système d'Aide à la décision permettant d'une part d'analyser, d'identifier et anticiper les tensions dans le service d'urgence pédiatrique du CHRU de Lille, et d'autre part de proposer des protocoles d'évitement de ces tensions. Dans la gestion des systèmes de production de soins, la maîtrise des flux hospitaliers et l'anticipation des tensions sont des enjeux majeurs. Les acteurs du secteur hospitalier et des filières de soins doivent maîtriser des tensions telles les pics d'activités et les engorgements de services qui sont liées aux flux des patients et aux flux des processus de soins. Ils sont toutefois démunis en méthodologies et outils d'aide à la décision et de pilotage adaptés.

### **I.6.2 Problématique de recherche**

L'une des problématiques majeures à laquelle sont confrontés les établissements hospitaliers de manière chronique, pour laquelle aucune réponse satisfaisante n'existe à l'heure actuelle, résulte des interférences permanentes entre l'activité programmée et l'activité non programmée, et plus particulièrement l'activité non programmée urgente, communément désignée sous le vocable d'urgence.

Le terme d'urgence, recouvre deux phénomènes distincts :

- Des flux récurrents, pouvant présenter des variations saisonnières mais dont on connaît les tendances moyennes à court ou à moyen terme (i.e., mois ou année). La mise en place d'une structure, d'une organisation et d'un pilotage à court terme est un enjeu majeur d'efficacité du système de production de soins, même dans le cas où les flux sont connus.
- Des flux consécutifs à des crises sanitaires (grippes, canicules, vagues de froid), qui sont imprévus en volume et en nature.

On constate que, s'il est envisageable d'adapter et de mettre en œuvre les méthodes classiques d'organisation, de planification, de gestion et d'optimisation, pour la prise en charge des flux de patients programmés, il est beaucoup plus complexe de maîtriser les prises en charge des flux d'urgence. Selon le Dr. Abdel Bellou, Président de la

Commission Evaluation de la Société Francophone d'Urgences Médicales : *« il faut savoir qui sont les patients qui arrivent aux urgences et comment ils sont pris en charge »*.

Dans le cadre de ce projet, nous avons donc choisi un secteur particulièrement représentatif de ces tensions à l'hôpital : le service des urgences pédiatriques du CHU de Lille.

**Ce projet a pour contexte médical d'étude et d'expérimentation, les situations de prise en charge des infections épidémiques hivernales des jeunes enfants par les urgences et l'hospitalisation pédiatrique.**

En effet, dans le CHRU de Lille, comme ailleurs en France, l'activité des structures des urgences et d'hospitalisation est particulièrement fluctuante pour les enfants, avec chaque année un pic d'activité dans la période de novembre à février lié à toutes les infections virales, mais plus particulièrement aux trois épidémies virales annuelles représentées par les bronchiolites à virus respiratoire syncytial (VRS), les gastro-entérites aiguës (surtout à rotavirus) et les gripes. La superposition, plus ou moins importante, de ces trois épidémies crée une situation annuelle de désorganisation importante des structures d'accueil hospitalières débordées, et de pénurie de lits d'hospitalisation, dont les dates de survenue et l'amplitude sont variables d'une année à l'autre.

Depuis longtemps, les services des urgences pédiatriques tentent de s'organiser en augmentant les effectifs soignants, en adaptant certains horaires de travail, en transformant des locaux dédiés à d'autres missions. Les services de pédiatrie ferment des lits d'hospitalisation programmée ou d'hôpital de jour, ou transforment des lits par exemple de chirurgie en des lits dits « épidémiques ». Mais ces adaptations sont effectuées de façon très anticipée, au mieux en fonction de données des années précédentes, mais sans pouvoir tenir compte des caractéristiques propres aux épidémies de l'année en cours.

Les Services d'Urgences Pédiatriques (SUP) du CHRU de Lille gèrent un ensemble complexe de flux de patients. Lors d'épisodes épidémiques, les flux habituels se compliquent par les flux liés aux épidémies. Cette augmentation de flux a un impact sur l'utilisation de structures dédiées aux urgences accueillant les urgences moins de 24H.

Elle affecte également l'absorption par le CHRU des flux programmés, et induit parfois une redistribution des patients vers d'autres hôpitaux de la métropole.

Les travaux de recherche que nous menons dans le cadre du projet HOST concernent la conception et le développement des modèles et des méthodes innovantes pour gérer d'une manière efficace les flux logistiques du SUP. Ainsi, un parcours de soins non optimisé aura pour conséquence une augmentation de la durée d'hospitalisation, une mauvaise gestion des moyens humains et matériels (par exemple : manque de lits d'hospitalisation). De ce fait, réfléchir sur les mesures qui amélioreront le flux des patients aux SUP conduira impérativement à l'identification des mesures qui optimiseront le fonctionnement des SUP et l'accès aux soins.

## **I.7 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons introduit l'organisation des services d'urgence hospitalière en mettant le point sur le Système de Santé Français (SSF). Nous avons introduit également l'organisation de la prise en charge des urgences en France et détaillé en particulier l'organisation de service d'urgence pédiatrique auquel nous nous intéressons dans ce travail.

Ce premier chapitre a mis l'accent sur la complexité des services des urgences élucidant certaines sources de cette complexité. Celle-ci est essentiellement liée à la multiplicité des missions, la hiérarchisation, le cloisonnement, la diversité des métiers, l'hétérogénéité des équipements et des installations etc. Cette complexité se trouve aggravée par la nature même de l'activité de soins. En effet, 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 cela 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.

Nous avons enfin abordé les problèmes et les enjeux des structures d'urgences dans le service des urgences pédiatriques 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

une modélisation au sein du service d'urgences pédiatrique dont l'intérêt est la minimisation de temps d'attente afin d'améliorer la qualité du processus de prise en charge des patients. Nous proposerons dans les chapitres suivants une nouvelle approche intégrant de façon conjointe l'optimisation et les Systèmes Multi-Agents. Ainsi, un état de l'art sur les différents outils de modélisation dans nos approches de résolution est présenté dans le deuxième chapitre.

# Chapitre II Les approches de modélisation et d'optimisation en santé

## II.1 Introduction

Les recherches sur les problématiques de gestion et d'amélioration en milieu hospitalier existent depuis les années 1970. Nous connaissons également depuis les années 90 l'apport de la modélisation et de la simulation dans les milieux hospitaliers (Lagergren, 1998 ; Dotoli et al. 2010 ; Wiler et al. 2011). Par définition, un service d'urgence pédiatrique (SUP) peut être considéré comme un nœud dans un foyer de soins du système de santé. Il est relativement autonome, non trivial et de complexité suffisante pour l'élaboration d'un modèle dynamique de soins de santé en tant que système adaptatif complexe. Comme tous les systèmes complexes, le SUP peut apparaître à la fois simpliste à une échelle appropriée, et dans une période de temps comme un système complet. De même, comme toute organisation, un SUP fonctionne simultanément à différents niveaux : physique, organisationnel et sociétal. Dans ce sens, l'analyse d'un SUP dans le but de l'améliorer passe inévitablement par une étape de modélisation plus ou moins formelle selon la méthodologie mise en œuvre. Dans notre cas, la modélisation est fondamentale pour analyser les processus de soins au sein du SUP. Elle représente également un premier pas vers l'optimisation des activités au sein du service d'urgence.

A l'heure actuelle, les approches de modélisation et d'optimisation proposées dans la littérature sur la logistique pour la santé sont multiples et s'inspirent le plus souvent des méthodes mises en œuvre dans les systèmes industriels (Mazier, 2010). L'objectif de ce chapitre est donc de présenter d'une part quelques approches de modélisation (§II.1) et d'optimisation intéressante et non exhaustive concernant notre thématique de recherche (§II.2), et d'autre part de faire un état de l'art sur la question en santé (§II.3) et

d'expliquer, grâce à un positionnement, les raisons du choix de l'approche de résolution adoptée pour le service des urgences pédiatriques (§II.4).

## **II.2 Les approches de modélisation**

Selon l'expression de Kreitchmar et al. (1994), l'objectif de la modélisation ce n'est pas de reproduire la réalité, mais plutôt de comprendre les mécanismes qui lient les causes aux phénomènes. Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes et outils permettant de modéliser, d'optimiser et de simuler un système hospitalier (Fone, 2003 ; Jun et al. 1999 ; Günal et Pidd, 2005; Brailsford, 2007 ; Anagnostou et al. 2013), notamment dans les services des urgences (Chauvet et al. 2008 ; Daknou et al. 2010 ; Escudero-Marin et Pidd, 2011). Le choix des méthodes et outils appropriés se fait par rapport aux propriétés du système hospitalier lui-même ainsi qu'en fonction du but recherché de la modélisation. Dans les paragraphes suivants nous présenterons certaines méthodes de modélisation, des outils et des modèles utiles pour la logistique hospitalière.

### **II.2.1 Modélisation UML**

L'UML (Unified Modelling Language) est un langage de modélisation et de spécification non propriétaire. Il s'agit d'un langage orienté objet principalement utilisé dans le domaine du développement informatique. L'UML propose un ensemble de notations graphiques standardisées regroupées en treize types de diagrammes ; n'étant pas une méthode, leur utilisation est donc laissée à l'appréciation de chacun.

Le langage UML se décompose en plusieurs sous-ensembles :

- Les vues, permettant de décrire le système d'un point de vue donné (organisationnel, dynamique, temporel, architectural. etc.) ;
- Les diagrammes, permettant de décrire graphiquement le contenu des vues, qui sont des notions abstraites ;
- Les modèles d'éléments, briques de base d'UML utilisées dans plusieurs types de diagramme.

Par ailleurs, l'UML est également un support de communication permettant d'exprimer visuellement, grâce à son formalisme graphisme épuré, une solution objet en limitant les ambiguïtés et les incompréhensions, facilitant ainsi la comparaison et l'évaluation de différentes solutions. Il s'agit de plus d'un langage universel compatible avec un grand nombre de supports et facile à assimiler (Augusto, 2008).

Dans le domaine de la santé, plusieurs recherches se sont appuyées sur l'UML comme outil de modélisation. Staccini et al. (2001) ont ainsi utilisé l'UML pour la création d'un modèle de données dédié à plusieurs processus hospitaliers. Les auteurs ont proposé une méthodologie pour structurer les besoins des usagers en utilisant une analyse orientée processus. Cette méthodologie est appliquée au processus de transfusion sanguine.

Dans la recherche de Vasilakis et Kuramoto (2005), plusieurs diagrammes ont été utilisés pour représenter les activités de trois chirurgiens, travaillant en parallèle sur trois activités différentes. Le comportement de chaque processus modélisé est défini grâce à l'ensemble admissible des séquences d'évènements, de conditions et d'actions.

Martin et al. (2011) ont également utilisé l'UML pour modéliser le parcours patient dans un service d'urgence australien afin d'identifier les goulots d'étranglement qui contribuent à l'engorgement du service.

En somme, il est possible de recenser les avantages et les inconvénients de l'utilisation de l'UML comme outils pour la modélisation de systèmes de soins. Dans sa recherche, Augusto (2008) a recensé l'essentiel de ces éléments que nous les résumons dans le tableau suivant :

| Les avantages                                                                                                                                                                                                                    | Les inconvénients                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| UML est un langage formel et normalisé, offrant précision et stabilité.                                                                                                                                                          | La mise en pratique d'UML est dangereuse car la modélisation est totalement libre et les outils sont variés. |
| UML est un support de communication performant, permettant de cadrer l'analyse ; la compréhension de représentations abstraites complexes est facilitée ; son caractère polyvalent et sa souplesse en font un langage universel. | UML doit être spécifié pour être utilisé dans un cadre précis sans risque d'erreur.                          |

**Tableau II.1:** Les avantages et les inconvénients d'UML

## **II.2.2 Le Workflow comme outil de modélisation**

Le workflow permet de créer un modèle représentant le comportement d'un système puis le met en œuvre grâce à un moteur intégré. Au cours de la mise en œuvre, le Workflow permet aux acteurs humains d'interagir au bon moment, en lecture et en écriture, avec le système grâce à des interfaces graphiques. En lecture, afin de bénéficier de la bonne information au bon moment pour réaliser les tâches en cours, et en écriture pour alimenter ponctuellement le système d'informations nécessaires pour son bon déroulement.

### **II.2.2.1 Définition**

Le Workflow est une technologie informatique ayant pour objectif la gestion des processus d'organisations ou d'entreprises. Les termes suivants sont également employés pour qualifier cette technologie « Système de Gestion Electronique de Processus », « Gestion de Workflow » ou « Gestion de processus » (Courtois, 1996).

### **II.2.2.2 Objectifs**

L'objectif des systèmes de flux de travail est de fournir un environnement de programmation spécialisé et de simplifier l'effort requis par les scientifiques pour orchestrer une expérience (Taylor et al. 2007). En général nous pouvons classer les quatre différentes phases du cycle de vie d'un flux de travail comme suit :

- **Composition** : c'est la représentation de modèle de données. La composition du flux de travail (abstrait ou exécutable) est réalisable à travers un certain nombre de différents moyens, par exemple texte, graphique, sémantique.
- **Cartographie** : Comprend la cartographie du flux de travail pour les ressources sous-jacentes.
- **Exécution**: Promulgation du flux de travail mappé sur les ressources sous-jacentes.

- **Métadonnées et Provenance** : L'enregistrement des métadonnées et des informations de provenance au cours des différentes étapes du cycle de vie du flux de travail.

Au cours de la phase de composition, il revient à l'utilisateur de créer un flux de travail à partir de zéro ou d'en modifier un flux de travail déjà conçu. L'utilisateur peut compter sur des composants de flux de travail et de données de catalogues. Le processus de composition du flux de travail peut être itératif, où des portions du flux de travail doivent être exécutées avant les parties suivantes du flux de travail sont conçues. Une fois le flux de travail est définie, tous, ou des portions de flux de travail peuvent être envoyés pour la cartographie et l'exécution. Au cours de cette phase diverses optimisations et des décisions de planification peuvent être faites. Enfin, les données, les métadonnées et la provenance des informations associées sont enregistrées et placés dans une variété de registres qui peuvent ensuite être accessibles, voire même pour concevoir un nouveau flux de travail. Même si nous délimitons l'enregistrement de données comme une phase du cycle de vie du flux de travail, cette activité fait souvent partie de l'exécution du flux de travail (Deelman et al. 2009).

### II.2.2.3 Les principaux standards : éléments de base du BPMN

Initialement créé pour décrire, représenter et mettre en œuvre les processus métiers des entreprises dans le but d'organiser ses activités par soucis d'efficacité (Marquardt et Nagl, 2004), le Workflow est de plus en plus utilisé aujourd'hui pour modéliser et simuler des phénomènes scientifiques, il est donc appelé le Workflow scientifique.

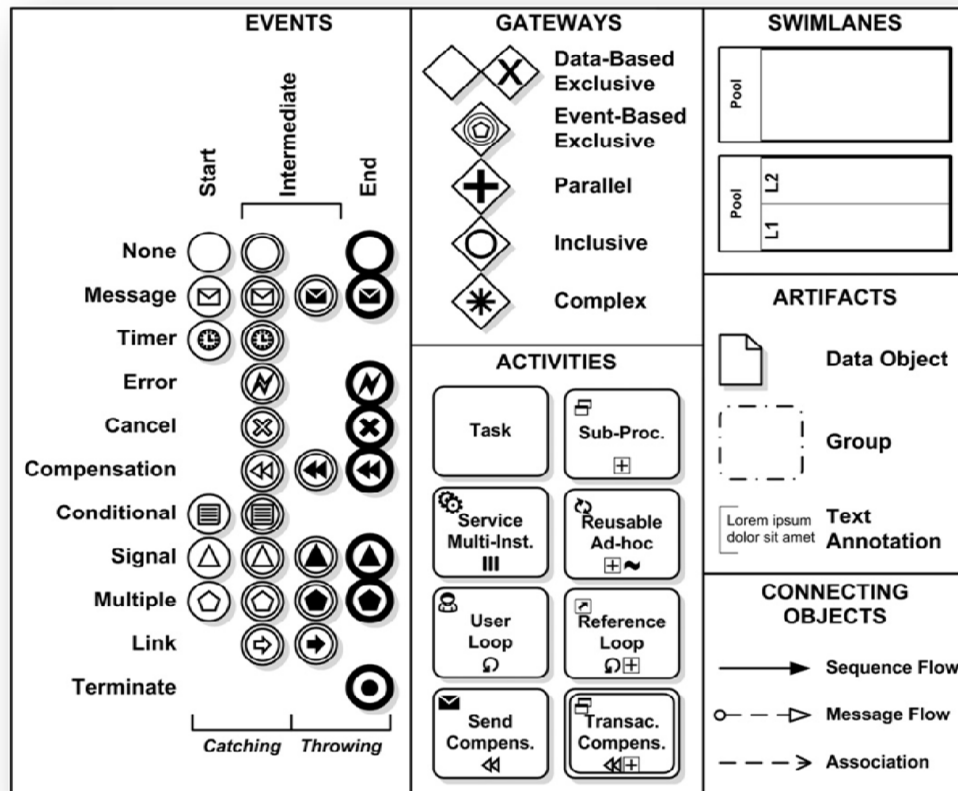
Cette approche permet de représenter un système et de le mettre en œuvre en se basant sur un langage graphique inspiré de l'UML<sup>6</sup> et basé sur 4 groupes de composants : les activités (les tâches à faire), les événements (faits marquants qui déclenchent, finissent ou enchaînent les processus), les transitions (permettent la circulation des flux) et les branchements conditionnels. Le *Business Process Modeling Notation* (BPMN) est un langage graphique de Workflow développé la BPMI<sup>7</sup> (Chinosi et Trombetta, 2012) qui a

---

<sup>6</sup> UML : Unified Modeling Language

<sup>7</sup> BPMI: Business Process Management Initiative

fusionné avec l'OMG<sup>8</sup> (fondatrice de l'UML) en 2005. Le BPMN est actuellement à sa version 2.09.



**Figure.II.1:** Éléments de base de la langue BPMN

*Source (BPMN: An introduction to the standard 2012 p: 124-134)*

Les logiciels utilisant ce type de langage sont les outils du Workflow. Ces derniers sont souvent dotés de modules de simulation afin de vérifier le bon déroulement des processus dans un système, examinant par exemple la consommation des ressources et les temps d'exécution. Un comparatif intéressant de ces outils a été fait par Liu et al. (2011). Par exemple, l'outil Bonitasoft<sup>10</sup> a l'avantage, en plus d'avoir une version gratuite intéressante, de pouvoir mettre en œuvre le modèle grâce à un moteur intégré, de générer des interfaces automatiquement pour permettre aux ressources humaines d'interagir avec le système, et enfin de simuler la modélisation mise en place grâce à

<sup>8</sup> OMG: Object Management Group

son outil de simulation incorporé. Il y a également la possibilité de relier le système Workflow à d'autres systèmes externes grâce aux connecteurs.

#### **II.2.2.4 L'approche Workflow dans le domaine de la santé**

En France, comme dans de nombreux pays d'Europe, les services d'urgence présentent les mêmes difficultés et les raisons sont multiples. Ces difficultés ne sont pas seulement liées à l'organisation de la santé, mais aussi à l'évolution de la demande de soins dans les pays occidentaux (WMP Vander et al. 2003). Les exigences en matière de soins de santé ont évolué en relation avec une nouvelle approche de la gestion du temps. Aujourd'hui, les gens ont besoin d'un traitement rapide et efficace. Ils rejettent le vieillissement, la maladie et la mort (Chinosi et Trombetta, 2012).

Le flux des patients aux urgences ne cesse d'augmenter. Cette hausse a généré un intérêt stratégique dans l'optimisation des ressources humaines et techniques tout en maîtrisant les coûts (Taylor et al., 2007). Pour atteindre ces objectifs, les établissements de santé ont eu recours à des outils et techniques de gestion empruntées au domaine de l'industrie comme l'outil de workflow (Deelman et al. 2009). L'utilisation de la méthode de flux de travail a montré son applicabilité et l'intérêt de la méthode de modélisation pour un établissement de santé. Elle a permis l'amélioration des performances de différents systèmes de service et les activités conduite (Deelman et al. 2009).

Le modèle Workflow a été utilisé par de nombreux chercheurs pour tester les activités d'un Service d'urgences (SU) (Souf et al. 1999), pour aider les responsables des SU à comprendre le comportement du système en ce qui concerne les causes cachées des temps d'attente excessifs (Komashie et Mousavi, 2005), pour analyser les flux de patients et le temps de débit (Malhotra et al. 2007 ; Essen et al. 2012 ; Rozinat et al. 2009 ; Duckwoong et al. 2010). Les techniques de simulation à événements discrets ont également été utilisées pour estimer les futures capacités de nouvelles installations de SU ou des extensions (Duckwoong et al. 2010 ; Benoît et al. 2011).

### **II.2.3 Les Systèmes Multi-Agents (SMA)**

#### **II.2.3.1 L'approche SMA**

Les agents autonomes et les Systèmes Multi-Agents (SMA) représentent une nouvelle approche ou méthode pour analyser, concevoir et implanter des systèmes informatiques complexes. Les agents sont utilisés dans une variété d'applications sans cesse croissante.

La classe d'applications concernées par les SMA s'élargit de plus en plus. 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).

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 (Ferber, 1995 ; Cardon, 2000).

#### ***a) Définition de l'agent***

Un agent est une entité qui fonctionne continuellement et de manière autonome dans un environnement où d'autres processus se déroulent et d'autres agents existent (Shoham, 1993).

Parmi les nombreuses définitions du terme « agent », certaines semblent faire l'unanimité au sein de la communauté des chercheurs. Ferber (1995) définit un agent comme une entité physique ou virtuelle qui est :

- Capable d'agir dans un environnement,
- Mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs, individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
- Possède des ressources propres,
- Capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement, qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
- Possède des compétences et offre des services,

C'est également un agent qui peut :

- Communiquer directement avec d'autres agents,
- Se reproduire (éventuellement), dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.

Une définition plus commune, inspirée des travaux de Jennings et al. (1998), englobe ces notions et définit un agent comme étant : « *un système informatique doué de raisonnement et capable de communiquer avec ses semblables et qui agit sur son environnement d'une façon autonome et en fonction de sa perception pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu* ». Cette définition met l'accent, non seulement sur la capacité de l'agent à raisonner, mais aussi à agir. En effet, le concept d'agent repose sur la notion fondamentale de l'accomplissement des actions qui vont pouvoir agir sur l'environnement et le modifier. Il en découle de cette définition que le cycle de vie pour un agent est basé sur trois grandes phases : la perception de l'environnement, la prise de décision et l'exécution. L'agent utilise ses connaissances et ses comportements pour construire sa perception de l'environnement qui l'entoure et le reproduire. Ensuite, vient l'étape de la prise de décision ou encore « délibération » qui consiste à décider de la prochaine action à exécuter. Pour ce faire, l'agent use de ses raisonnements et de son « intelligence » qui caractérisent très bien sa capacité à être autonome. Enfin, l'agent va effectuer concrètement l'action choisie lors de l'étape précédente.

Une autre définition est apportée par Wooldridge et al. (1995), un agent est un système informatique capable d'agir de manière autonome et flexible dans son environnement. La flexibilité d'un agent consiste en les propriétés suivantes :

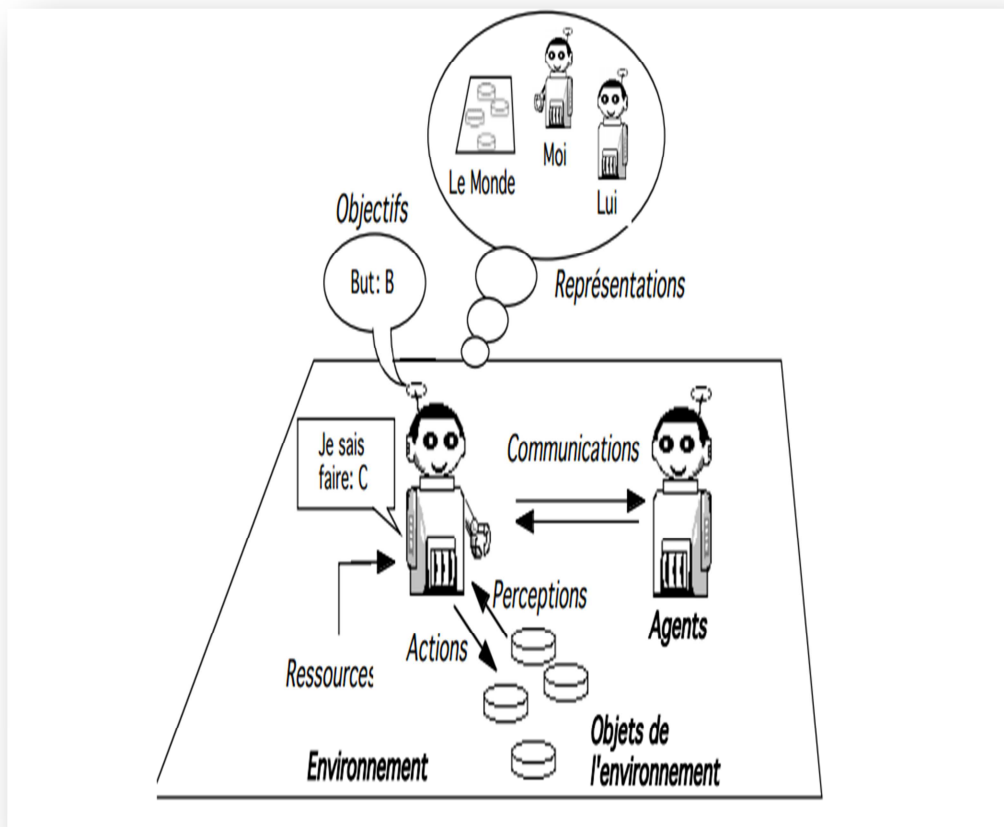
- ✓ *Réactivité* : elle concerne l'aptitude d'un agent à réagir aux modifications survenant dans son environnement et à adapter son fonctionnement et comportement (actions et ordre dans lequel elles sont entreprises) en fonction des changements perçus.
- ✓ *Proactivité* : elle concerne l'aptitude d'un agent à agir de sa propre initiative pour essayer d'atteindre les buts et les objectifs qu'il s'est fixé. Son comportement n'est donc pas uniquement dirigé par des événements mais il est tout à fait capable de générer et satisfaire des buts.

- ✓ **Capacités sociales** : un système social est capable d'interagir ou coopérer avec d'autres systèmes. Les agents communiquent directement entre eux pour pouvoir échanger des informations et interagir via des langages de communication spécifiques et convenus.

#### **b) Les types d'agents**

Il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus pour définir ce qu'est un modèle d'agent (Daknou, 2011). Trois principales architectures sont couramment utilisées dans les SMA (Drogoul, 2000 ; Daknou, 2011, Kaddoussi 2012): les architectures d'agents réactifs, les architectures d'agents cognitifs et les architectures d'agents hybrides.

- **Agents réactifs** : très rapides, leurs actions sont assimilées à des réflexes. Ils fonctionnent selon un modèle stimuli/réponse. En effet, dès qu'ils aperçoivent un changement dans leur environnement ils réagissent par une action programmée. Pour cela, ces agents sont constamment en état de veille attendant un changement probable survenant dans l'environnement. Contrairement aux agents cognitifs, les agents réactifs n'ont pas de représentation explicite de leur environnement. L'exemple le plus célèbre est celui de la fourmilière étudié par Drogoul (2000).
- **Agents cognitifs** : Ces agents proviennent d'une métaphore du modèle humain. Ils possèdent une représentation explicite de leur environnement, des autres agents et d'eux-mêmes. Ils sont dotés de capacités cognitives : anticiper, raisonner, mémoriser, planifier, communiquer... Les actions qu'ils entreprennent sont généralement le fruit d'un comportement réfléchi basé sur leurs connaissances de l'environnement. Le travail le plus représentatif de cette famille d'agent porte sur le modèle « *Believe Desir Intention BDI* » (Rao & Georgeff, 1995).
- **Agents hybrides** : Ces agents conjuguent la rapidité de réponse des agents réactifs avec les capacités de raisonnement des agents cognitifs. Il s'agit de ce fait d'un compromis autonomie/coopération et efficacité/complexité.



**Figure.II.2:** L'interaction d'un agent avec son environnement et d'autres agents (Ferber, 95)

### II.2.3.2 La chaîne logistique et l'intérêt croissant des SMA

Au cours des trois dernières années, force est de constater qu'il y a eu un engouement des recherches utilisant les systèmes multi-agents (SMA) dans différents domaines. Ils sont devenus populaires pour la modélisation des systèmes complexes comme la chaîne logistique (Shen et al. 2006 ; Zgaya, 2007 ; Kammoun, 2007 ; Monostori et al. 2006 ; Labarthe et al., 2007 ; Tounsi, 2009 ; Feki, 2010 ). En reprenant les travaux de Yuan et al. (2002), Tounsi (2009) a rappelé un ensemble d'analogies entre la chaîne logistique et les SMA classées dans le tableau ci-dessous :

| Critère de comparaison                                           | Chaîne logistique (SC)                                                                                            | Système multi-agent                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>L'habilité sociale des entités</i></b>                     | les prises de décision se font au travers de méthodes de coordination et/ou de négociation entre les acteurs      | Les agents sont autonomes, sensibles aux modifications de l'environnement, proactifs (initient les prises de décisions et d'actions) et disposent de capacités sociales |
| <b><i>Les capacités décisionnelles</i></b>                       | apprentissage et raisonnement sont nécessaires à la prise de décision individuelle et collective pour les acteurs | Capacités de raisonnement, d'acquisition ou de modification de connaissances par interaction avec l'environnement possible pour les agents                              |
| <b><i>La coordination entre entités</i></b>                      | coordination des acteurs de la SC par le partage de flux matériels, informationnels, monétaires ou décisionnels   | Coordination des activités des agents par interaction avec les autres agents                                                                                            |
| <b><i>La distribution et l'incomplétude de l'information</i></b> | un acteur de la SC accède à des informations incomplètes, partagées le long des frontières du système             | Les agents possèdent des informations incomplètes, les partages d'informations et / ou des connaissances s'effectuent par échanges de messages                          |
| <b><i>La répartition des tâches</i></b>                          | Les tâches des acteurs de la SC peuvent être décomposées et données en responsabilités à d'autres acteurs         | Les agents peuvent déléguer des tâches ou en partager pour la résolution de problèmes complexes                                                                         |
| <b><i>L'évolutivité des systèmes</i></b>                         | Structures dynamiques, les acteurs s'inscrivent ou quittent la chaîne logistique                                  | Les agents peuvent rejoindre le système et d'autres peuvent être détruits.                                                                                              |

**Tableau.II.2 :** Analogies chaîne logistique et SMA (Tounsi, 2009)

### II.2.3.3 Les SMA en santé

Même si l'idée d'utiliser la simulation informatique en santé ne date pas d'hier (Hancock et Walter, 1979), le domaine de la santé comme terrain de recherche n'a pas échappé à cette tendance (Fone et al. 2003 ; Chauvet et Gourgand, 2008 ; Taboada et al. 2012). Les organisations hospitalières fonctionnent aujourd'hui dans un environnement incertain et doivent faire face à de nombreux problèmes (croissance des dépenses de santé, vieillissement de la population, intégration de technologies de plus en plus sophistiquées et de plus en plus coûteuses, pénurie de personnel soignant,...). La chaîne logistique hospitalière est par nature complexe et fait intervenir de nombreux acteurs. Dans cette perspective, les caractéristiques des SMA semblent être particulièrement adaptées pour la représentation et la simulation des systèmes hospitaliers dynamiques.

#### **II.2.3.4 Pourquoi les SMA dans les SUP**

Dans le premier chapitre nous avons vu que l'engorgement des services d'urgence n'est pas un phénomène nouveau (Lynn et al. 1991 ; Fone et al. 2003 ; Cadrera et al. 2012 ; Anagnostou et al. 2013). Il ressort de notre analyse des activités des services d'urgence qu'il s'agit d'une structure à la fois la plus complexe et fluide dans les systèmes de santé. Ces caractéristiques intrinsèques s'expliquent par le fait que les services d'urgence sont systématiquement confrontés à une demande croissante de soins avec une activité non linéaire difficilement programmable qui varie selon les heures, les jours, les semaines ou encore les saisons. L'idéal pour les responsables de ces services c'est de trouver une solution permettant de répondre à une demande de soins de plus en plus exigeante en termes de qualité de service et des soins. L'ambition des responsables se trouve alors rapidement limitée par des ressources publiques de plus en plus rares. Par conséquent, les solutions proposées doivent s'orienter davantage vers l'optimisation dans l'utilisation des ressources de soins de santé. Pour cette raison, la modélisation et la simulation peuvent aider à gérer certaines situations particulières, notamment les augmentations saisonnières de la demande de soins afin de garantir une utilisation efficace des ressources.

Comme le souligne Taboada et al. (2012), il n'existe pas encore de modèles standards pour décrire des systèmes complexes, et la simulation devient un outil d'une importance cruciale entre les mains des décideurs pour anticiper les conséquences de telle ou telle situation.

Au cours des dernières décennies, il y a eu des efforts considérables en matière de développement des modèles de simulation et d'optimisation pour résoudre les différents problèmes liés aux fonctionnements des structures d'un système de santé (gestion des flux ; allocation des ressources humaines, techniques et financières... (Ahmed et Alkhamis, 2009 ; Weng et al. 2011). Les efforts déployés pour améliorer la performance du fonctionnement de ce service se sont appuyés en grande partie sur la mobilisation des techniques de la modélisation et de la simulation dans le domaine de l'informatique (Hancock et al. 1979 ; Saunders et al. 1989 ; Jun et al. 1999 ; Brailsford et al. 2004 ; Ahmed et al. 2009). Dans la littérature, nous trouvons quelques principales approches couramment utilisées dans la modélisation et la simulation dans le domaine de la santé

(Fone et al. 2003), telles que l'analyse de décision, la chaîne de Markov, modélisations mathématiques, les systèmes dynamiques et les événements discrets (Jun et al. 1999; Fone et al. 2003 ; Kanagarajah et al. 2006). Cependant, force est de constater que les recherches n'arrivent pas à aboutir à des solutions pérennes et globales. En effet, l'inconvénient commun majeur de ces approches de modélisation réside dans le fait qu'elles ont tendance à négliger l'effet des comportements humains sur la performance des processus de soins (Wang, 2009). En outre, les caractéristiques stochastiques dans les différentes étapes dans le processus de soins de santé ne sont généralement pas pleinement intégrées. A ce titre, la simulation à base d'agents offre une perspective complémentaire à modéliser le processus de domaine des soins de santé (Kanagarajah et al. 2006 ; Hutzschenreuter et al. 2008 ; Wang, 2009).

Par ailleurs, si nous trouvons une abondante littérature utilisant ces approches dans les différents domaines de la santé, nous constatons que l'utilisation des systèmes multi-agents reste encore dans ces débuts bien que les systèmes de soins de santé s'apparentent plus à l'usage de cette approche. En effet, ces systèmes sont basés sur des actions et des interactions humaines qui sont très difficiles à modéliser. Dans ce sens, Escudero-Marin et Pidd (2011) estiment que l'utilisation par exemple de la simulation à événements discrets n'est pas du tout appropriée pour le domaine de la santé. Les recherches menées au cours de la dernière décennie soulignent de plus en plus le potentiel que représentent l'utilisation de la modélisation SMA dans le domaine de la santé, notamment dans les services des urgences (Kanagarajah et al. 2006 ; Günal et Pidd, 2010 ; Stainsby et al. 2009 ; Escudero-Marin et Pidd ; 2011)

Selon Taboada et al. (2012) les techniques de modélisation à base d'agents apporteraient plus d'avantages lorsqu'elles sont appliquées à des systèmes humains dans lesquels les individus présenteront des comportements complexes et stochastiques dont les interactions se caractérisent par l'hétérogénéité et la complexité. Selon Norling et al. (2000), les SMA sont surtout utilisés dans des situations où l'utilisation des méthodes classiques, telles que l'analyse qualitative ou statistique ne permettent pas de prédire le comportement humain.

Dans cette perspective, certains chercheurs ont tenté d'appliquer les SMA dans le domaine de la santé, notamment dans la planification (Paulussen et al. 2004),

l'optimisation de l'utilisation des ressources (Hutzschenreuter et al. (2008) ou encore dans la recherche d'une allocation optimale du personnel des services d'urgence afin de minimiser la durée du séjour des patients (Cabrera et al. 2012).

## II.3 Les approches d'optimisation

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche de l'optimum (minimum ou maximum) d'une fonction  $f$  donnée, appelée **fonction objectif** ou **fonction de coût** ou encore **critère d'optimisation**. Ce besoin d'optimiser découle de la nécessité de fournir à l'utilisateur un système qui puisse répondre au mieux à ses exigences. L'optimisation a été introduite dans un souci d'amélioration des services fournis, peu importe le domaine auquel elle s'applique. Un problème d'optimisation concerne l'exécution de méthodes spécifiques en quête d'un optimum. Ce dernier peut être une valeur maximisant ou minimisant une fonction  $f$  (dite fonction objectif ou fonction de coût) ; elle est encore appelée critère d'optimisation (Sghaier, 2011). Selon le cas, qu'il s'agisse d'un problème mono-variable ou multi-variables, continu ou discret ... Une méthode d'optimisation adéquate est choisie avec soin pour bien cadrer avec le contexte afin de résoudre le problème de manière efficace.

Entre méthodes exactes, méta-heuristiques, hybrides ou autres, chercheurs et praticiens ont à leur disposition un large panel de choix de méthodes d'optimisation qu'ils peuvent adopter. Cependant, toutes ces méthodes ne sont pas automatiquement appropriées au problème d'optimisation auxquels ils doivent faire face. Par conséquent, un choix judicieux doit être fait en adéquation avec les caractéristiques du problème en question. A défaut de quoi, l'optimisation et l'efficacité escomptées s'en trouveront entravées.

### II.3.1 Heuristiques et méta heuristiques

Cette première approche consiste à utiliser des méthodes heuristiques visant à identifier rapidement de bonnes solutions. Un algorithme heuristique permet alors d'identifier au moins une solution réalisable a un problème d'optimisation, mais sans garantir que cette solution soit optimale.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de définition officielle. Cependant, il est communément admis que :

- Une heuristique désigne un algorithme qui résout un problème d'optimisation donné, sans garantie d'optimalité mais dans des temps de calcul raisonnables (un exemple connu est l'algorithme glouton). Les méthodes heuristiques sont souvent classées en deux catégories : les méthodes constructives permettent de construire une solution réalisable, et les méthodes d'amélioration permettent de visiter plusieurs solutions réalisables en tentant d'améliorer la valeur de l'objectif ;
- Une métaheuristique désigne un schéma algorithmique général qui peut s'appliquer à différents problèmes d'optimisation combinatoire. Plus précisément, elle utilise des stratégies qui guident la recherche dans l'espace des solutions, ces stratégies étant indépendantes du problème auquel on les applique. Le but est d'explorer le plus efficacement possible l'espace des solutions afin de ne pas rester bloquer dans les minima locaux et de se diriger rapidement vers les régions les plus prometteuses. Il existe un grand nombre de métaheuristicues allant de schémas très simples (qui mettent en œuvre des processus de recherche basiques, comme la descente), à des schémas beaucoup plus complexes (avec des processus de recherche élaborés comme les colonies de fourmis).

### **II.3.2 Le recuit simulé (Simulated Annealing - SA)**

Cette métaheuristique est caractérisée par la présence d'une variable de contrôle appelée température (par analogie aux processus thermodynamiques dont elle s'inspire) qui fixe les conditions dans lesquelles une transformation dégradante est acceptée. Siarry (2002) explique le fonctionnement général de cette méthode : *« Partant d'une configuration donnée, une certaine température  $T$  suit le procédé qui repose sur le fait de faire subir au système des modifications élémentaires. Si la modification en question arbore une amélioration qui converge vers l'objectif fixé (i.e. diminution de la fonction objectif (ou énergie)), elle est alors acceptée. Par ailleurs, même si cette même modification provoque au contraire une augmentation  $\Delta E$ , il est envisageable qu'elle soit acceptée*

mais avec une certaine probabilité de  $\exp(-\Delta E/T)$ . Cette démarche est par la suite réitérée en gardant la température constante, jusqu'à ce que l'équilibre thermodynamique soit atteint, concrètement au bout d'un nombre suffisant d'itérations (i.e. modifications). Une fois ce but atteint, toute la démarche ainsi décrite est renouvelée pour une nouvelle valeur de la température plus basse et une série de transformations est alors effectuée ».

**Initialisation**  
 Choisir une solution admissible initiale  $s \in X$ ;  
 $s^* := s$ ;  
 $k := 0$ ; (compteur d'itération global)  
 nouveau\_cycle := vrai; (variable booléenne indiquant O/N effectuer un nouveau cycle d'itérations)  
 $t := t_0$ ; ( $t_0$  = température initiale du système)

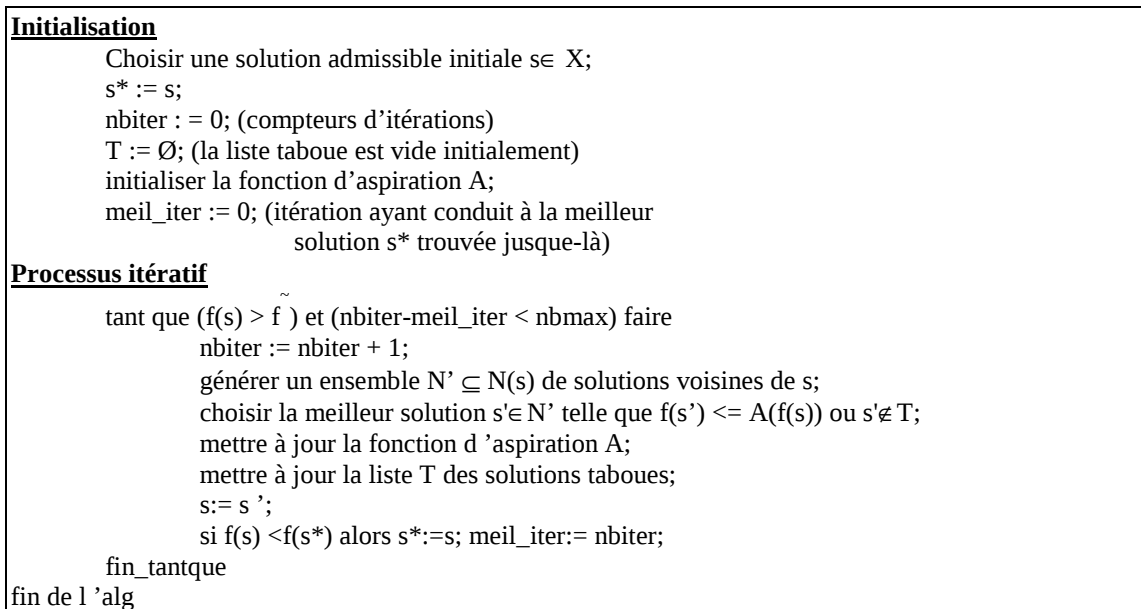
**Processus itératif**  
 tant que nouveau\_cycle = vrai faire  
   nbiter := 0; (compteur d'itération interne à un cycle)  
   nouveau\_cycle := faux;  
   tant que nbiter < nbiter\_cycle (nombre de paliers à fixer au départ) faire  
      $k := k+1$ ; nbiter := nbiter + 1;  
     générer une solution  $s' \in N(s)$  aléatoirement;  
      $\delta f := f(s') - f(s)$ ;  
     si  $\delta f < 0$  alors  $s := s'$ ; nouveau\_cycle := vrai;  
     sinon  $\text{prob}(\delta f, t) := \exp(-\delta f/t)$ ; générer  $q$  aléatoirement dans  $(0,1)$ ;  
     si  $q < \text{prob}(\delta f, t)$  alors  $s := s'$ ; nouveau\_cycle := vrai;  
     si  $f(s) < f(s^*)$  alors  $s^* := s$ ;  
   fin\_tantque  
    $t := a*t$  ( $0 < a < 1$  : coefficient de refroidissement)  
 fin\_tantque  
 fin de l'algorithme

**Figure.II.3** : Organigramme de la métaheuristique du « Recuit Simulé » (Siarry, 2002)

### II.3.3 La recherche tabou (Tabu Search – TS)

La recherche *tabou* est également une des métaheuristicues les plus connues. Introduite par Glover (1986), elle utilise un historique de manière à interdire à l'algorithme de revenir sur ses pas. Cet historique se traduit par la présence d'une liste dite tabou qui garde une trace des dernières solutions visitées. Ainsi l'algorithme ne pourra plus explorer ces solutions (du moins à court terme, tout dépend de la taille de la liste tabou).

L'algorithme fonctionne comme suit. Initialement la liste *tabou* est vide et on génère une solution (**S**) à l'aide d'une heuristique quelconque ; (**S**) devient la solution courante. A chaque itération, on choisit le meilleur voisin (**S'**) de (**S**) qui n'est pas déjà dans la liste tabou, (**Sf'**) devient la solution courante (**S**) et est ajoutée à la liste tabou. Si la taille de la liste tabou dépasse la taille maximale autorisée, on supprime de cette liste l'élément le plus ancien (*stratégie FIFO - First In First Out*). Notons que la liste tabou permet d'éviter les cycles en interdisant de choisir une solution dans le voisinage de la solution courante qui aurait déjà été explorée. En outre, en pratique, on ne stocke pas les solutions dans leur intégralité (trop coûteux en temps et en espace) mais seulement une signature de ces solutions.



**Figure.II.4:** Organigramme de l'algorithme « Tabou » (Siarry, 2002)

### II.3.4 Les algorithmes évolutionnaires

Les algorithmes évolutionnaires sont inspirés du domaine de la biologie. Ils ont été introduits dans les années 1950 (Fraser, 1957). Les techniques utilisées reproduisent le schéma d'évolution des espèces et en adoptent le vocabulaire. Les solutions sont appelées individus et l'algorithme traite simultanément plusieurs individus. L'ensemble de ces individus est appelé population et évolue à chaque itération de l'algorithme. La population relative à une itération donnée s'appelle génération, on obtient donc une

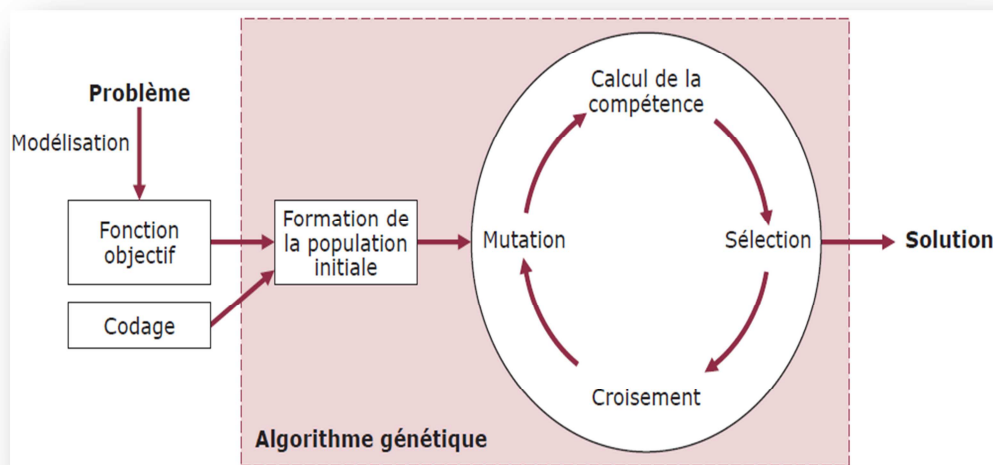
nouvelle génération à chaque itération. Les individus qui servent à produire la nouvelle génération sont appelés parents et les individus résultants sont appelés enfants ou fils.

Le principe d'un algorithme évolutionnaire est simple. En effet, il s'agit de considérer un ensemble de  $N$  points, choisis à priori au hasard, dans un espace de recherche. Cet ensemble constitue la *population* initiale. Chaque individu  $x$  de la population ainsi définie possède une certaine performance, qui mesure son degré d'*adaptation* à l'objectif visé. Par exemple, dans le cas de la minimisation d'une fonction objectif ( $f$ ), l'individu ( $x$ ) est d'autant plus performant que  $f(x)$  est plus petit. Le principe de base d'un algorithme évolutionnaire revient à faire évoluer de manière progressive, par *générations* d'individus successives, la composition de la population tout en maintenant, toutefois, sa taille constante. Au fil des générations, l'objectif principal visé consiste à améliorer la performance globale des individus (Siarry, 2002).

Plusieurs approches d'algorithmes évolutionnaires ont été étudiées :

- Les stratégies d'évolution (*Evolution Strategies* - ES), utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation continue ;
- La programmation évolutionnaire (*Evolutionary Programming* - EP), conçue pour faire évoluer des automates à états finis, l'idée étant de créer une intelligence artificielle ;
- Les algorithmes génétiques (*Genetic Algorithms* - GA), utilisés pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire, ces derniers étant certainement les plus populaires.

*Exemple : algorithme génétique*



**Figure.II.5:** Résolution d'un problème par algorithme génétique (Siarry, 2002)

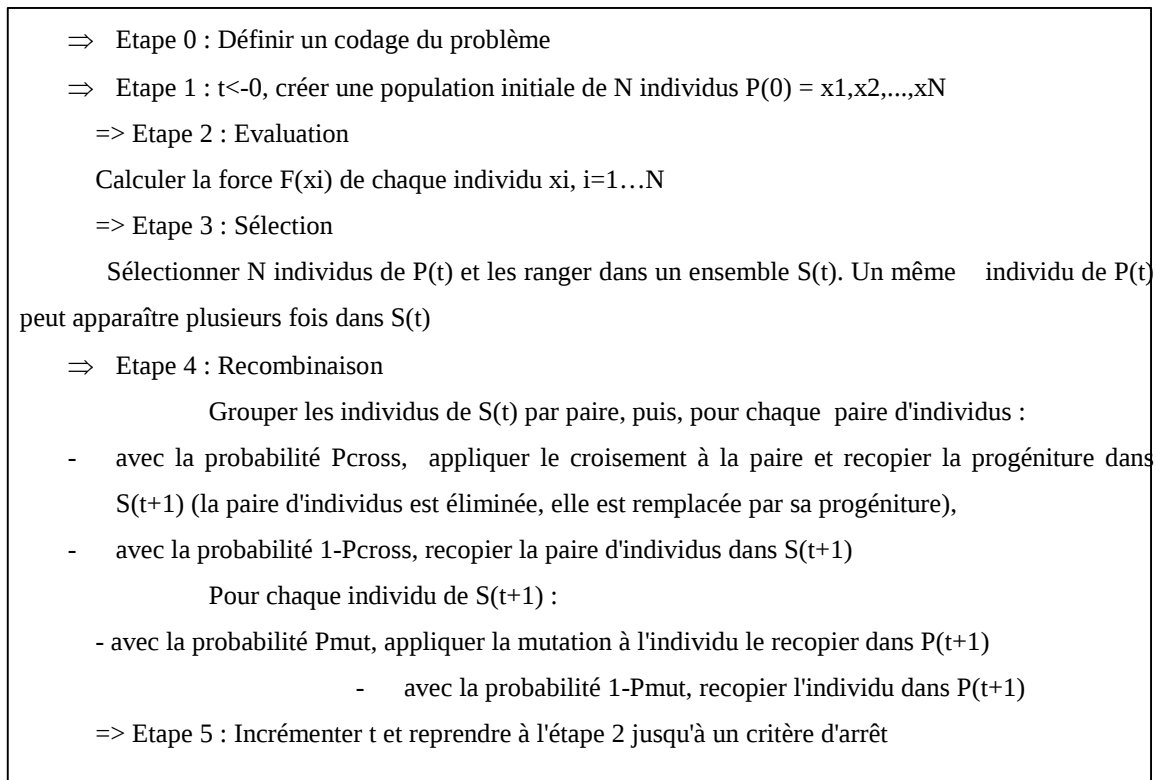
### II.3.5 Les algorithmes génétiques

Les AGs sont des algorithmes fondés sur les mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique en respectant les phénomènes d'hérédité et la loi de survie énoncée par Darwin. Selon ces principes, les individus les mieux adaptés au milieu survivent et par conséquent peuvent donner une descendance (Goldberg, 1989 ; Caux et al. 1994).

Les AGs ont pour but d'optimiser une fonction prédéfinie par l'utilisateur appelée critère ou fonction coût (*fitness* en anglais). Pour ce faire, l'algorithme travaille en parallèle sur une population de points candidats appelés *individus* ou *chromosomes*. Un chromosome est une représentation ou un codage sous forme de chaînes d'une solution à un problème. Il est constitué d'un ensemble d'éléments appelés *gènes*, pouvant prendre plusieurs valeurs appelées *allèles* appartenant à un alphabet non nécessairement numérique. Le but est de rechercher la combinaison optimale de ces éléments qui donne lieu au maximum de *fitness*. A chaque *itération* ou *génération* est créée une nouvelle population avec le même nombre d'individus (Rendres, 1995 ; Mesghouni, 1999).

La première phase est le codage des solutions. Ensuite, à partir d'une première population de chromosomes de taille fixe, créée soit d'une manière aléatoire, soit par des heuristiques. Les AGs génèrent de nouveaux individus de telle sorte qu'ils soient plus performants que leurs prédécesseurs. Le processus d'amélioration s'effectue par l'utilisation d'opérateurs génétiques qui sont la sélection, le croisement et la mutation.

Le schéma général de l'algorithme génétique simple est décrit par la figure II.1.



**Figure.II.6:** Organigramme de l'Algorithme Génétique

## II.4 Modélisation et optimisation en santé

La gestion des organisations de santé révèle une grande complexité. Cette complexité est due à la multitude des intervenants, la multiplicité et la variété des missions, l'hétérogénéité des équipements (Pham, 2002) et surtout la sensibilité des tâches exercées. Minvielle (1996) considère que le déroulement d'un établissement de santé est marqué par l'incertitude et la diversité des tâches associées aux personnels, ce qui montre que les établissements de santé ne sont pas simples et faciles à gérer.

Les professionnels sont à la recherche des méthodes les moins coûteuses et les plus réactives qui fourniront des services, loin des établissements centralisés, accessibles à tout le monde à faible coût et quand on en a besoin. Au cours des dernières décennies, les différentes formes de modélisation et d'optimisation se sont révélées progressivement d'une grande importance dans le domaine de la santé. Des modèles

ont tendance à devenir des outils standards de gestion de services de santé et de recherche.

#### **II.4.1 Optimisation de l'allocation de ressources et d'ordonnancement dans les établissements de santé**

De nombreuses études ont été menées pour aider les gestionnaires du système de santé à prendre les décisions, leur permettant d'évaluer les conséquences produites par leurs choix dans l'efficacité et l'efficience du système (Flessa, 2000 ; Zon et al. 1999). Ces gestionnaires sont chargés de prendre les meilleures décisions possibles, malgré les contraintes imposées par l'environnement dans lequel ils opèrent. En outre, ils doivent présenter les meilleures solutions aux meilleurs coûts. Pour cela, l'attention est dirigée vers l'importance de fournir un système d'optimisation (Baubeau et al. 2000 ; Bjorkgren et al. 2001 ; Jacobson et al. 2001) qui permet l'évaluation des choix alternatifs (Ferreira, 1999 ; Côté, 1999 ; Vissers et al. 2001) et dont l'efficacité est souvent mesurée par le coût ainsi que la qualité de service (diminution du temps d'attente des patients, ne pas tomber dans un manque de ressources...)

Le problème d'ordonnancement dans les établissements de santé est généralement lié à plusieurs services requis par plusieurs catégories d'utilisateurs où chaque service est effectué par plusieurs types de serveurs (par exemple les médecins, les lits, les instruments), chacun a ses propres coûts. Pour cela on a besoin de mobiliser des données de nature différente, et donc d'affecter les tâches de soin à des ressources (Burke et al. 2004).

Dans ce contexte, on aborde la notion d'ordonnancement dans les établissements de santé devenu de plus en plus complexe car ;

-  Le personnel doit avoir de hautes capacités diversifiées pour pouvoir répondre aux demandes des patients,
-  On ne peut pas prédire le passage d'un patient dans le système hospitalier car plusieurs facteurs interviennent tels que la pathologie et son mode de prise en charge,
-  Enfin, l'environnement hospitalier est hautement stochastique, ce qui rend difficile la planification de ressources.

## **II.4.2 Allocation des ressources**

Un problème général de soins de santé consiste à allouer les ressources médicales rares, tels que les salles d'opération ou le personnel médical afin de garder la file d'attente des patients aussi courte que possible. Une difficulté majeure réside dans le fait que cette répartition doit être mise en place plusieurs mois à l'avance, sachant que le nombre exact des patients pour chaque spécialité demeure un paramètre incertain. Un autre problème se pose pour les horaires cycliques, où l'allocation est définie sur une courte période, par exemple une semaine, puis répétée au cours de l'horizon temporel. Toutefois, la demande varie généralement de semaine en semaine: même si on sait à l'avance la demande exacte pour chaque semaine, l'horaire hebdomadaire ne peut pas être adapté en conséquence.

## **II.4.3 Optimisation des ressources**

L'optimisation mathématique joue un rôle de plus en plus pertinent dans la gestion de la santé. En effet, comme le souligne Belien (2006) : « *Dans le proche avenir de la santé publique, les ressources deviendront insuffisantes. Par conséquent, nous devons trouver des moyens efficaces pour la planification, la priorisation et la prise de décision* ». La tâche principale des administrations de l'hôpital est celle donc de répartir efficacement un certain nombre de services médicaux et de ressources. Une grande variété d'affectation et les problèmes d'ordonnancement se posent dans certains cas (Rais et al, 2010 ; Cardoen et al. 2010).

L'allocation des ressources est directement liée à un problème de planification, qui revient à établir la séquence des patients acceptés. En règle générale, les patients nécessitant une thérapie spécifique sont d'abord placés dans une liste d'attente et par la suite admis à l'hôpital. Des indicateurs de performance en relation avec la longueur de ces listes sont générés pour déterminer l'efficacité. Les longues files d'attente sont à éviter, car elles représentent un coût énorme pour les systèmes de soins de santé (Patrick et al. 2008 ; Hans et al. 2008).

Pour chaque spécialité, le coût de la file d'attente est un paramètre de conception qui doit être établi par le conseil de l'hôpital. Dans le cas typique, le coût sera représenté

par une fonction convexe, avec des coûts marginaux croissants avec la longueur de la queue.

Des listes plus courtes sont évidemment préférées, mais il est en général impossible d'éviter un certain nombre de files d'attente, et peut-être même pas souhaitable. En effet, l'absence de file d'attente pour certaines spécialités pourrait en fait révéler une allocation inefficace de certaines ressources rares.

Donc, un problème d'ordonnancement de base en santé peut être énoncé comme le problème de l'attribution d'un certain nombre de ressources aux spécialités médicales de manière à minimiser les coûts de file d'attente. Clairement le processus d'attribution doit être fixé à l'avance et peut impliquer des négociations. Ainsi, les ressources sont allouées au début d'un horizon de temps qui peut être tout à fait long, allant de quelques mois à plusieurs années. Le nombre de patients pour chaque spécialité est donc estimé à l'avance et le nombre réel peut différer considérablement de l'estimation initiale. En outre, les horaires sont souvent créés en référence à l'horizon de planification (Par exemple de une à quatre semaines), puis répétée cycliquement. Evidemment, la demande réelle peut varier d'une période à l'autre, même si elle est connue à l'avance. Un calendrier doit alors veiller à ce que les files d'attente soient aussi petites que possible lorsque la demande est maximale (par rapport au programme sélectionné).

#### **II.4.4 Ordonnancement du personnel**

La programmation du personnel (PP) est définie comme le processus de construction optimisé pour l'ordonnancement du travail du personnel. D'une manière générale, il faut une affectation du personnel dûment qualifié à des changements spécifiques pour répondre aux demandes de services d'une organisation tout en respectant la réglementation du travail et en essayant de satisfaire les préférences individuelles. Cette méthode pourrait être développée et adaptée dans différents domaines d'application tels que les systèmes de transport, les systèmes de soins de santé, les services de fabrication, de protection et d'urgence, les services municipaux et les services publics.

Jaumard et al (1998) ont présenté un modèle de programmation linéaire généralisé basé sur l'algorithme *Branch & Bound* pour le NSP <sup>11</sup> avec différentes compétences en soins infirmiers. Le problème principal était de trouver une configuration des horaires individuels pour satisfaire les contraintes de couverture de la demande tout en cherchant à minimiser les coûts salariaux et maximiser les préférences infirmières et la qualité des soins.

Millar et Kiragu (1998) ont utilisé un modèle de réseau pour la planification cyclique et non cyclique des infirmières, où les nœuds du réseau représentaient un modèle réalisable du travail-stretch ou hors-stretch<sup>12</sup>. La problématique qui en résulte était essentiellement un modèle du plus court chemin avec contraintes latérales.

Selon Blöchliger (2004) une analyse détaillée et une description des éléments fondamentaux nécessaires à la construction d'un modèle pratique (PP) doivent être fournies. Ernst et al. (2004) donnent un examen élaboré des applications, des modèles et des algorithmes de (PP) où les auteurs abordent la programmation des médecins résidents dans les hôpitaux.

Musa et Saxena (1984) avaient mis l'accent sur un algorithme monophasé GP en tenant compte des politiques d'ordonnancement des infirmières de l'hôpital et des préférences pour le week-end. Arthur et Ravindran (1981) ont été les premiers à utiliser cette méthode avec les quatre objectifs suivants: minimiser la taille de l'effectif, le nombre minimum d'employés, les préférences, l'insatisfaction du personnel. Dans la première phase de leur approche, un modèle de programmation par objectifs (GP) est utilisé pour attribuer les motifs days-on/days-off à des infirmières pour l'horizon de planification de deux semaines. La deuxième phase s'occupe des changements spécifiques aux infirmiers par une procédure heuristique. Bard et Purnomo (2007) quant à eux ont développé une heuristique double pour résoudre le calendrier de préférence cyclique des infirmières.

#### **II.4.5 L'optimisation dans le domaine de l' hadronthérapie**

L'hadronthérapie est une nouvelle technique de radiothérapie utilisant des particules en interaction forte, très peu de travaux de recherches antérieurs sur les méthodes

---

<sup>11</sup> NSP : *nurse scheduling problem*

<sup>12</sup> stretch ou hors-stretch: *work-stretch and 'off-stretch' patterns*

d'optimisation pour les activités de l'hadronthérapie peuvent être trouvés dans la littérature. Il convient de se référer à ceux qui ont été faits pour la radiothérapie. Dans cette perspective, Sepulveda et al. (1999) proposent un modèle de simulation visant à analyser les flux de patients et évaluer la nécessité de la construction d'un nouveau centre de traitement du cancer. Le modèle a été utilisé pour déterminer des goulots d'étranglement dans le processus de traitement et comparer plusieurs méthodes de traitement. Wercker et al. (2009) ont mis l'accent sur la planification du traitement en prenant en compte la disponibilité des professionnels de santé impliqués dans leur modèle de simulation. Différentes propositions d'amélioration ont été simulées avec l'objectif de réduire le temps d'attente entre la phase de diagnostic et la première session du traitement. Les résultats obtenus ont permis de réduire le temps d'attente de deux à un jour. Kaparama et al. (2007) ont donné une représentation complète du processus de traitement du cancer à l'hôpital de Coventry.

Par ailleurs, Conforti et al. (2008) ont utilisé des modèles de programmation linéaire pour optimiser la planification des séances de traitement. Dans un premier temps, les chercheurs ont proposé deux modèles afin d'optimiser le calendrier de traitement de radiothérapie, en tenant compte de l'affectation des priorités, le nombre de séances de traitement par patient, et la durée maximale de l'ensemble du traitement. L'objectif du premier modèle consiste à maximiser le nombre de patients traités au centre de radiothérapie. Le second modèle permet le changement initialement prévu pour le calendrier, et est capable de générer le calendrier, indépendamment des tranches horaires réservées.

Petrovic et al. (2006) ont proposé une comparaison entre deux approches : JIT (*Just In Time*) et ASAP (*As Soon As Possible*) afin de planifier l'utilisation dynamique des machines. La priorité est donnée aux patients dont la première date d'échéance est la première à être achevée. Les résultats ont montré que la méthode JIT est plus efficace que l'autre ASAP. Dans le même temps, des chercheurs comme Petrovic et al. (2006) ont appliqué une approche structurée en utilisant la méthode « *Raide colline escalade* » afin de minimiser la somme pondérée du nombre moyen des retards de traitement. Testé sur des données réelles obtenues par le modèle de simulation, cette approche a remarquablement contribué à la diminution des délais de 85 patients prévus.

#### **II.4.6 L'optimisation par la chasse aux gaspillages : le Lean Healthcare**

Le Lean management est une démarche de progrès de l'industrie qui est née dans les années 50 chez Toyota (Toyota Production System) et dans son environnement fournisseurs, qui a été reprise et conceptualisée dans les années 90 au MIT sous le nom de Lean qui peut être traduit par « maigre ». Lean est considéré comme une alternative radicale à la méthode traditionnelle de production de masse pour maximiser l'efficacité opérationnelle, la qualité, la rapidité et le coût (Holweg, 2007). Le développement du Lean dans différents domaines a été largement discuté dans la littérature (Radnor et al. 2008 ; Radnor et al. 2011).

Par définition, la démarche *Lean* cherche à reconfigurer les processus organisationnels pour réduire les déchets et améliorer la productivité basée sur l'application d'outils et techniques d'analyse couplée avec la création d'une culture de l'amélioration continue (Womack et Jones, 1996). Au cours de la dernière décennie, les projets Lean en santé sont devenus très répandus. Brandao de Souza (2009) ont montré que la plupart de ces expériences ont eu lieu aux Etats-Unis (57%), avec un rythme de croissance rapide au Royaume-Uni (29%), suivie par l'Australie (4%). Ainsi, Lean a été adopté dans les services publics, y compris le secteur de santé (Radnor, 2011).

L'application des principes Lean dans le secteur de santé, notamment les hôpitaux, doivent supprimer les processus répétitifs ainsi que les procédures inutiles tels que: l'enregistrement des patients dans plusieurs endroits, l'attente excessive pour le personnel et la non coordination des processus de décharge qui mène à une plus longue durée de séjour [NHSIII, 2007].

Dans le but d'améliorer leur efficacité opérationnelle, les services de soins ont adopté des processus méthodologiques d'amélioration plus couramment associés à l'entreprise privée et l'industrie. Dans le service national britannique de la Santé (NHS<sup>13</sup>) par exemple, une multitude de domaines de management spécialisés ont été mis en place pour transformer l'organisation et établir des pratiques professionnelles permettant d'éviter les sources du gaspillage. Cela comprend, l'assurance qualité (Pollitt, 1993), *Business Process Reengineering* (BPR) (McNulty et Ferlie, 2002), la gestion des risques

---

<sup>13</sup> NHS : *National Health Service*

(Waring, 2005) et la gestion des connaissances (Currie et al. 2008). Une étude récente sur l'utilisation de ces méthodes dans le secteur public a révélé que 51% des publications axées sur Lean, 13% sur Business Process Reengineering, avec 35% indiquant leur utilisation dans les services de santé (Radnor, 2011). C'est dans ce contexte que l'introduction récente du *Lean Healthcare* est perçue comme une tentative pour réorganiser et rationaliser les soins de santé en utilisant des pratiques de management du secteur privé (Waring et Bishop, 2010).

D'un point de vue historique Lean est apparu dans le secteur de santé au Royaume-Uni en 2001 et, aux Etats-Unis en 2002. Cependant, la littérature suggère une variabilité considérable dans la mise en œuvre du Lean avec des différences dans l'approche et la portée. Plus précisément, la majorité des fournisseurs de soins de santé tendent vers les petits projets clos plutôt que d'adopter une organisation ou une approche systémique (Brandao de Souza, 2009; Radnor, 2010). *Royale Bolton NHS Foundation Trust* est cité comme le plus proche pour une application complète du Lean dans le Royaume-Uni (Radnor, 2011).

Des cas comme le Centre *Virginia Mason Medical Seattle* (USA), *Flinders* en Australie et le *Royal Bolton NHS Foundation Trust* au Royaume-Uni, sont devenus des exemples célèbres de la mise en œuvre du Lean dans les soins de santé. Dans ces cas, comme dans d'autres (Kraebber, 2013)<sup>14</sup>, il existe de plus en plus de preuves tangibles sur l'impact potentiel de la mise en place de cette méthode sur la qualité et le coût. La plupart des résultats obtenus mettent en évidence des améliorations en termes de réduction des délais d'attente, d'augmentation de la qualité par le biais d'une réduction des erreurs et de réduction des coûts. Les mêmes résultats soulignent des avantages intangibles de l'implantation de cette méthode tels que le niveau de satisfaction du personnel, la motivation croissante des employés et la satisfaction accrue des patients (Radnor et Boaden, 2008).

Enfin, il apparaît de cette revue de la littérature, au travers des quelques axes de recherche sur les approches de modélisation et d'optimisation, que l'évaluation du système de soins et de santé, doit s'appuyer sur des indicateurs de performance et de concevoir et de réaliser un outil d'aide à la décision qui représente un support

---

<sup>14</sup> in Jean Ann Larson (2013)

indispensable dans la plupart des activités réalisées au sein des systèmes de soins et de santé. Citons pour exemple : la complexité dans l'établissement d'un diagnostic pour certaines pathologies, la complexité de la planification et de la gestion des plateaux médico-techniques, l'organisation des services logistiques. Il est donc indispensable de concevoir et de mettre en œuvre des systèmes d'aide à la décision, exploitant et combinant des informations diverses (imagerie, radiographie, analyses médicales, ..... ) afin de fournir aux professionnels de soins et de santé les données et indicateurs pertinents facilitant l'élaboration et la validation de leur décision.

## **II.5 Modélisation et simulation du SUP : vers une Alliance entre SMA et Métaheuristique**

Le but de la modélisation et de la simulation dans le domaine de la santé, et notamment dans les SUP, peut se résumer de manière quasi universelle comme la recherche d'une méthode permettant d'assurer des soins de qualité avec un coût raisonnable et dans un délai de temps acceptable.

D'une revue de la littérature sur les travaux réalisés dans le domaine de la logistique en santé (Benanteur, et al. 2000 ; Hedges et al. 2003 ; Gourgand et al. 2005 ; Gourgand et al. 2006 ; André et Fénies, 2007 ; Persona et al. 2008 ; Savino et al. 2015), nous avons constaté que la majorité des recherches se sont basées sur des modèles centralisés ne tenant pas compte de ce qui se passe dans chaque unité organisationnelle du système logistique. Nous avons vu surtout que les systèmes hospitaliers sont par nature complexes. Par conséquent, l'utilisation des méthodes de modélisation et de simulation existantes se sont révélés généralement insuffisantes pour fournir un modèle complet d'un processus hospitalier si elles sont employées seules (Mazier, 2010). D'où la nécessité de faire un choix approprié des méthodes de résolution.

### **II.5.1 Choix des approches de résolution**

Attentes interminables, stress, agressivité, manque de personnel et de ressources matérielles, les urgences des hôpitaux sont de plus en plus sollicitées. Les médecins urgentistes ne peuvent plus gérer le flux des malades pendant les périodes de forte activité. Des entreprises spécialisées en gestion dans les hôpitaux ne cessent de prendre

de nouvelles mesures afin de satisfaire au mieux les patients. Toutefois, en période d'engorgement, les moyens simples mis en place à ce jour ne suffisent pas pour assurer une circulation fluide au sein des hôpitaux et la satisfaction du patient. Nos travaux de recherche s'inscrivent pleinement dans le cadre du projet ANR HOST et utilisent l'alliance entre les métaheuristiques et les systèmes multi-agent dans ce secteur qui n'a pas été exploitée auparavant alors qu'elle pourrait révéler des réponses particulièrement intéressantes et innovantes à des problèmes concrets dans le domaine de la santé. Cette alliance vise à déployer efficacement les moyens techniques et informatiques pour optimiser la gestion du temps et limiter les risques d'erreurs dans un domaine où le facteur humain est fortement présent.

### **II.5.2 Pourquoi cette alliance ?**

Les systèmes multi-agents forment un paradigme pour la conception des systèmes complexes et proposent des outils pour les analyser, les concevoir et les implanter. Théoriquement, un Système Multi-Agent (SMA) est un ensemble d'entités (agents logiciels ou humains) qui interagissent dans un environnement pour résoudre des problèmes qui dépassent les capacités ou les connaissances individuelles de chaque agent. Grâce à sa nature autonome, réactive et/ou proactive, le paradigme agent est adopté dans des systèmes dynamiques et en temps réel.

L'intersection entre les SMA et métaheuristique est très intéressante puisqu'ils abordent tout d'abord la distribution. En effet, la distribution du calcul permet une exploration plus efficace de l'espace de recherche tout en permettant une mise en œuvre parallèle possible de l'algorithme. Ensuite, les SMA et les métaheuristiques abordent tous les deux les problèmes d'adaptation et d'auto-adaptation des choix d'opérateurs. Le choix d'une bonne stratégie de recherche ou le choix d'un bon paramétrage peut être réalisé d'une manière dynamique et cela peut être vu sous la forme d'un problème d'apprentissage.

Dans le domaine de la santé, le SMA est la meilleure approche qui doit être adaptée puisqu'il s'adapte au caractère distribué et dynamique des problèmes des flux logistiques en santé. En plus, il permet la décomposition du système en plusieurs agents qui interagissent ensemble et collaborent afin de réaliser un but commun. Les SMA ont

été appliqués dans plusieurs aspects des systèmes de transport tels que la simulation de trafic automobile, la régulation des réseaux de transport multimodal, l'optimisation, la recherche et la composition des services liés au transport, l'optimisation, la recherche et la composition des itinéraires multimodaux, la surveillance des véhicules automatisés, le contrôle du trafic aérien, le transport de marchandises, systèmes d'aide au pilotage des avions militaires, la gestion du trafic urbain.

### **II.5.3 L'outil Workflow pour modéliser notre terrain d'expérimentation**

Le terrain d'expérimentation de notre projet ANR HOST est le SUP (Service d'urgence pédiatrique). Nous avons choisie l'outil workflow pour modéliser le parcours patient au sein du SUP qui sera présenté en détail dans le chapitre suivant. Cet outil permet de représenter le flux patient qui est une succession d'étapes nécessaires pour représenter un processus. Généralement, chaque parcours patient répond à une ou plusieurs problématiques en implémentant un nombre égal ou supérieur de processus. Chaque étape de ces processus est traduite par une ou plusieurs méthodes ou activités contenant la logique nécessaire à l'accomplissement d'une tâche de soin pour un patient. Une activité de soin est donc un morceau de logique métier, l'une des étapes du processus. Donc, le workflow est un outil adéquat qui se charge de l'organisation des activités du flux patients dans le SUP.

## **II.6 Conclusion**

Ce chapitre a permis de mettre en évidence que les établissements et organisations du domaine de la santé sont confrontées à des problématiques de restructuration, de modélisation et d'optimisation de leurs infrastructures et de leurs organisations. Le chapitre 3 détaille une modélisation par le Workflow du SUP (le terrain d'étude de notre projet (ANR HOST) qui permet d'identifier des dysfonctionnements du SUP. Les simulations réalisées vont nous montrer que ces dysfonctionnements sont dus en partie à une organisation mal adaptée aux contraintes et à l'évolution de missions du personnel médicale ainsi qu'à une mauvaise gestion des flux patients. Ainsi, le chapitre 4 qui expliquera en détails notre approche de résolution en combinant l'optimisation et les

systèmes multi-agents afin d'améliorer cette organisation et alimenter les systèmes d'informations. Plus généralement, les chapitres 3,4 et 5 contribueront à la mise en place des systèmes d'aide à la décision dans les systèmes de production de soins et de santé qui sont devenus maintenant incontournable.

# **Chapitre III Modélisation Workflow du parcours patient au sein des Services des urgences pédiatriques**

## **III.1 Introduction**

Dans le deuxième chapitre nous avons développé l'intérêt des outils de modélisation et d'optimisation dans les systèmes hospitaliers. Nous avons montré que le recours à l'approche Workflow dans le domaine de la santé apporte un excellent modèle pour identifier les problèmes issus du parcours patient afin de garantir une prise en charge rapide et de qualité tout en planifiant les ressources humaines et matérielles du Service des Urgences Pédiatriques (SUP).

Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord la structure actuelle du SUP du CHRU de Lille (§III.1). Ensuite, nous détaillons la modélisation du parcours patient au sein de ce service à l'aide de l'approche Workflow (§III.2) en régime « normal » et en régime de « tension » avec l'intégration des sous-processus dans le modèle correspondant aux différentes entités de ce service. Enfin, nous exposerons notre démarche de simulation (§III.3).

## **III.2 Modèle global et sous-processus**

Notre objectif consiste à modéliser le plus fidèlement possible le SUP afin de pallier les divers dysfonctionnements de prise en charge en termes de gestion, et notamment lors des pics d'affluence. Nous avons effectué plusieurs visites du SUP au CHRU de Lille – Hôpital Jeanne de Flandres – qui nous a permis de mieux cerner les problèmes auxquels le service devait faire face. Les paragraphes suivants mettent en avant les aspects les plus importants que nous avons appris à propos du fonctionnement du SUP en fonction de ses spécificités dans le but de faire un modèle workflow du parcours patient le plus

réel possible.

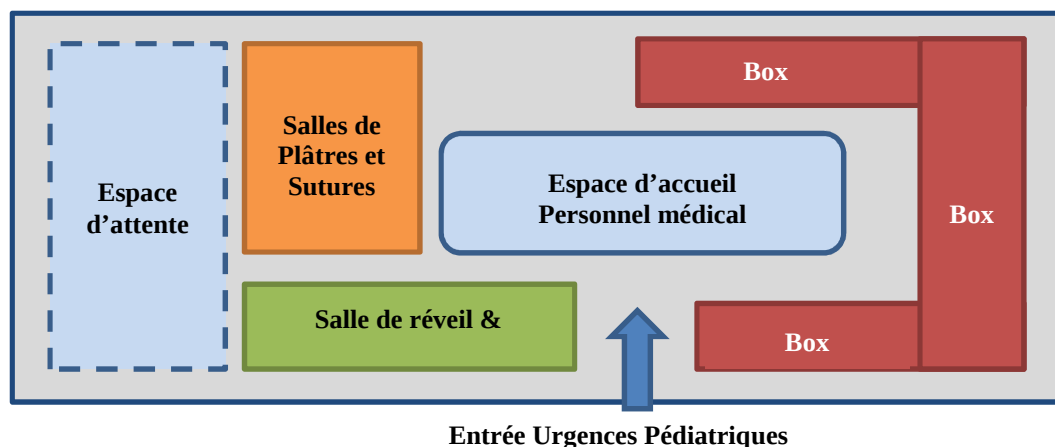
### III.2.1 Infrastructure du SUP

Le SUP du CHRU de Lille s'étale sur une surface 450m<sup>2</sup> au sein de l'hôpital Jeanne-de-Flandres. Si cela peut paraître petit, il est à noter tout de même la présence de 2 autres structures équivalentes dans l'agglomération Lilloise : l'une au sein de l'hôpital Saint-Vincent, et l'autre au sein du Centre Hospitalier de Tourcoing. Ainsi, la structure du CHRU de Lille reste modeste en admission par an. Toutefois, les Urgences Pédiatriques sont de plus en plus étroit dans leurs locaux, et ce malgré un agencement plutôt bien pensé du service, ce qui implique en outre la polyvalence du personnel.

Par ailleurs, le SUP du CHRU de Lille comprend :

- 1 espace d'accueil,
- 10 box avec des lits simples ou doubles,
- 1 salle de plâtre et 1 salle de sutures (peuvent servir également de box),
- 1 SAUV (Salle d'Accueil Urgences Vitales), c'est-à-dire une salle de surveillance pour les patients dont l'état demande une grande vigilance (doit être libérée le plus rapidement possible),
- 1 salle d'attente (dans le couloir).

La figure III.1 ci-dessous représente schématiquement l'agencement du service.



**Figure.III.1 :** Architecture physique du SUP

Le SUP du CHRU de Lille peut également compter sur des structures en aval au sein même de l'hôpital Jeanne-de-Flandres, qui accueille le reste du service pédiatrique. Les Urgences Pédiatriques ont ainsi à leur disposition, bien que le mot soit un peu fort pour décrire ce qui se passe réellement dans les faits, environ 170 lits en aval. En outre, l'hôpital est équipé de 3 blocs opératoires répartis comme suit :

- 1 bloc « Traumatologie »,
- 1 bloc « Chirurgie Cardiaque »,
- 1 bloc « Neurochirurgie ».

Malheureusement, dans la situation actuelle des choses, il n'y a pas de système fiable permettant de gérer efficacement les places disponibles, que ce soit pour les box du SUP à proprement parler, ou bien des lits au sein des structures en aval. De plus, un problème supplémentaire vient se rajouter à ce constat : les lits « faussement libres », c'est-à-dire les lits soient réservés, soient inutilisables du fait de la présence d'un malade contagieux dans la même pièce, ou du fait que la chambre n'ait pas encore été nettoyée après le passage d'un patient, ne sont pas comptabilisés.

Nous pouvons également ajouter à cela le fait qu'il n'existe pas d'alarmes centralisées, ni de salles de surveillance pour les patients qui doivent être placés en observation (hospitalisations courtes durées, effectuées par conséquent au sein des Urgences Pédiatriques). Néanmoins, le SUP a déjà connu au cours de ces dernières années de nombreuses modernisations, qui lui ont permis d'améliorer de manière déjà conséquente la gestion des pics d'activité au sein du service.

S'agissant du personnel disponible, l'équipe médicale des Urgences Pédiatriques se compose comme suit :

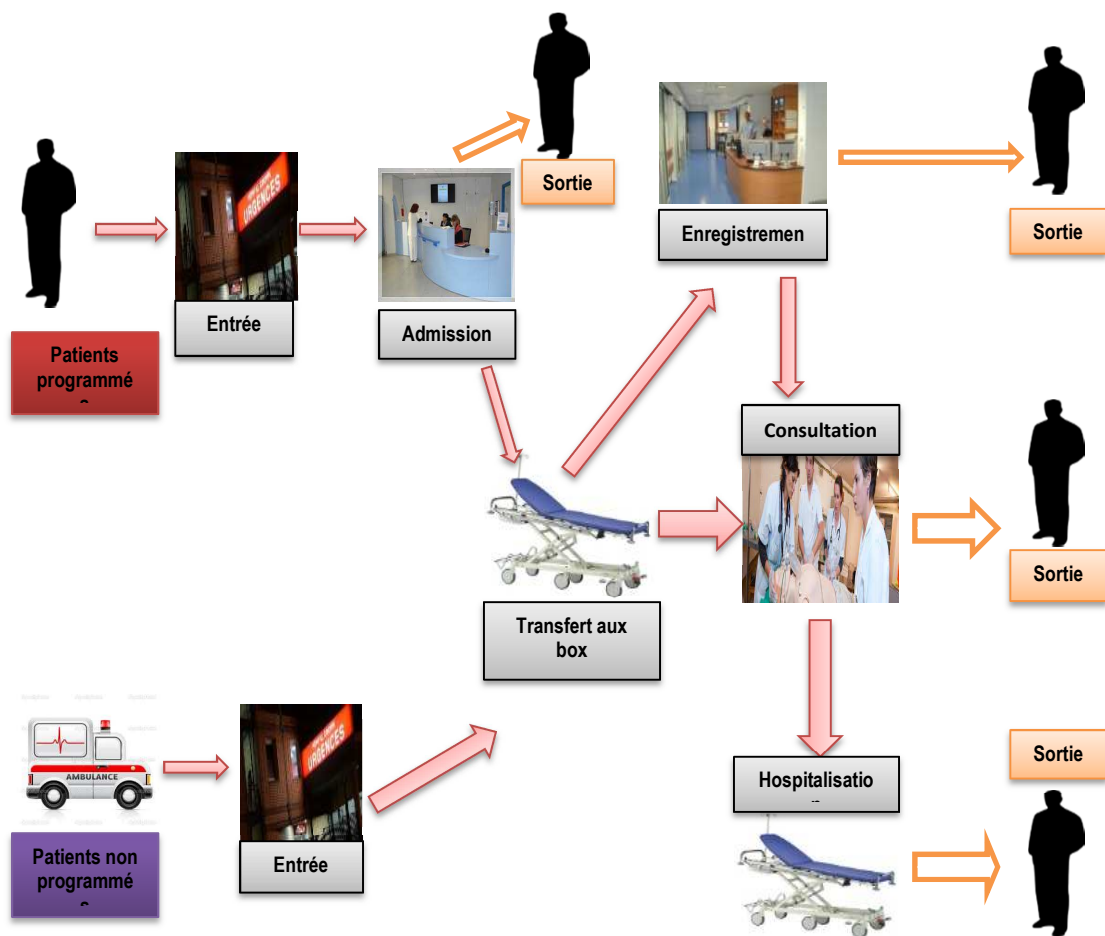
- 2 pédiatres de soins (médecins spécialistes)
- 1 interne en médecine générale
- 2 internes de pédiatrie
- 1 interne en chirurgie
- 2 à 3 infirmières Diplômées d'Etat (IDE) dont la répartition est la suivante : 2 le matin, 3 l'après-midi, 2 la nuit (dont une à l'accueil)
- 2 auxiliaires de puériculture

Cet effectif est suffisant dans 80% des cas, c'est-à-dire lorsque le service fonctionne en activité normale. En revanche, il devient en surcharge de travail lors des pics d'affluence. Ce problème ne peut être résorbé en augmentant les effectifs lors de ces périodes de travail intense pour des raisons multiples, notamment juridiques et syndicales : les infirmières exerçant à l'hôpital ne peuvent être en intérim et travailler régulièrement tous les soirs entre 18h00 et minuit (l'une des périodes les plus difficiles).

### **III.2.2 Observation du terrain et collecte des données**

Il est évident que le terrain de recherche choisi est spécifique et nécessite une démarche particulière afin de mener à bien notre travail. Pour cela, nous avons privilégié une approche qualitative pour mieux comprendre le terrain. Dans ce sens, si les méthodes qualitatives sont variées, il est rare qu'une seule méthode de collecte suffise à explorer complètement un objet de recherche. Ainsi, nous avons procédé à des entretiens individuels avec quelques experts du service des urgences pédiatriques. L'objectif de ces entretiens était surtout l'information et la compréhension. Des réunions ont été organisées avec des médecins pour savoir les pratiques et le déroulement des actions au sein du service des urgences pédiatriques. De même, nous avons organisé avec le staff des visites pour faire des observations directes non participantes afin de comprendre les comportements et interactions des acteurs en milieu naturel, sans intervention.

L'objectif général de notre démarche était donc, dans un premier temps, de concevoir une solution représentant le parcours patient au sein du SUP à partir des données recueillies au CHRU, ainsi que des données « chiffrées » des patients hospitalisés. La figure III.2 ci-dessous donne une partie des résultats obtenus.



**Figure.III.2 :** Les flux patients dans les services des urgences

### III.2.3 Parcours du patient

Le parcours type d'un patient fait référence aux différentes modalités de son admission aux urgences. D'une manière générale, chaque patient peut arriver au SUP par 2 entrées bien distinctes :

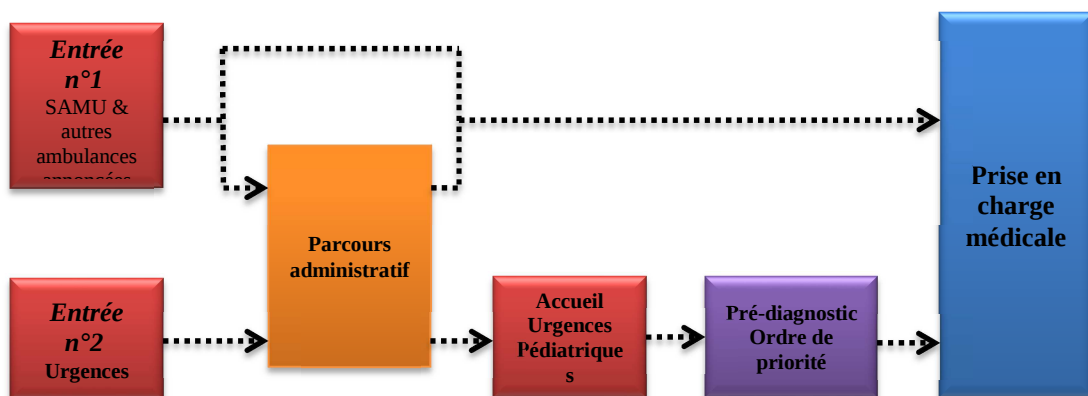
- Les *Urgences* : c'est par cette entrée qu'entre la très grande majorité des patients, qu'ils soient venus par leurs propres moyens (parents, famille...etc.) ou alors par le biais d'une ambulance qui n'aurait pas prévenu l'hôpital de son arrivée. Cette entrée est commune à toutes les personnes entrant au CHRU par les *Urgences*, enfants comme adultes. Les parents ou autres proches de l'enfant doivent suivre le parcours administratif d'admission à l'hôpital avant d'être redirigés vers le SUP.
- Le *SAMU* : l'arrivée du patient se fait directement dans l'espace d'arrivée des

ambulances annoncées, le patient est immédiatement redirigé vers le SUP, alors qu'un proche sera renvoyé vers la partie administrative afin de compléter le dossier d'admission à l'hôpital.

A son arrivée au SUP, si le patient est entré par les *Urgences*, il subit un premier diagnostic, établi par une infirmière, qui permet de définir un ordre de priorité (donc plus ou moins de passage) des patients qui entrent dans le service. Cet ordre de priorité des patients repose notamment sur une échelle de 4 niveaux d'urgences, permettant de traiter très rapidement, voire immédiatement, les cas les plus graves.

A l'issue d'une période d'attente plus ou moins importante en fonction de l'état d'encombrement du service et de l'urgence du cas, le patient est enfin pris en charge par un médecin.

Ce processus complet est repris et synthétisé dans la figure III.3 ci-dessous :



**Figure.III.3 : Le parcours de soins dans le SUP**

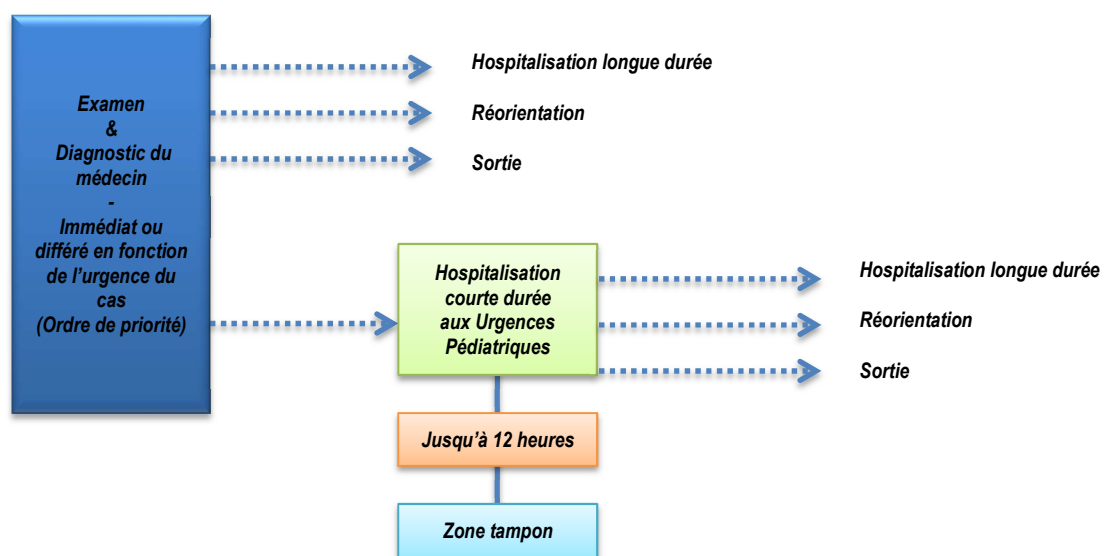
A l'issue du diagnostic médical établi par le médecin, ce dernier peut choisir, en fonction de l'état médical du patient ainsi que les infrastructures disponibles, de laisser le patient rentrer chez lui ou de le garder en observation, voire de l'hospitaliser.

Durant sa durée d'observation, le patient est presque contraint de rester en hospitalisation courte au sein du SUP du fait du manque de structures d'aval permettant de l'accueillir (que 12 heures, durée maximale d'hospitalisation courte). En effet, il n'y a pas de lits d'aval en surveillance continue à l'hôpital Jeanne-de-Flandres. De surcroît, il n'existe pas de centralisation des alarmes des patients. De même, si le médecin décide

de l'hospitaliser pour une durée plus longue il est souvent contraint de le garder au sein du SUP en attendant qu'une structure d'accueil en aval se libère.

Enfin, les réorientations de patients vers des structures hospitalières moins chargées sont très rare du fait du manque cruel de communication qui existe aujourd'hui entre les hôpitaux, et donc de l'impossibilité de connaître l'état d'encombrement de ses structures.

Ce processus est entièrement synthétisé dans la figure III.4 ci-dessous :



**Figure.III.4 :** Processus d'hospitalisation au sein du SUP

### III.2.4 Caractéristiques de l'activité au sein du SUP

Le flux de patient entrant dans le service est totalement aléatoire. Cependant, les chiffres moyens sont suffisamment cycliques et redondants pour que l'on puisse générer un modèle de flux entrant, et ce à plusieurs échelles temporelles : en fonction de la période de l'année, de la période de la journée, de certains évènements particuliers, etc.

A la suite d'une première exploration des données disponibles au CHRU (pour 2011, 2012 et 2013), nous avons pu mettre en évidence quelques chiffres clés sur le parcours des patients au SUP au CHRU de Lille:

- 5,5 fois le nombre moyen de changements de place pour un patient entrant au SUP;
- 25 000 personnes : le nombre annuel moyen des patients entrants au SUP;
- 2 heures est le temps d'attente moyen d'un patient au SUP, examens et résultats compris.

### **III.2.5 Périodes d'activité au SUP**

Le SUP est soumis à un afflux de patients complètement aléatoire. Cependant, il est possible de repérer des périodes un peu plus difficiles que d'autres en termes de charge de travail (pics d'affluence), ainsi que des périodes en termes de soins à prodiguer.

C'est ainsi que l'hiver, les maladies traitées sont fréquemment infectieuses, alors que l'été, les patients souffrent plutôt de traumatismes dus à des chutes en pratiquant un sport de plein air. Dans cette optique, les mois de novembre à février reviennent fréquemment dans les statistiques d'affluence comme étant des mois très chargés. Ceci est dû à la recrudescence des maladies infectieuses telles que la gastro-entérite, la bronchiolite ou la grippe durant la période hivernale.

D'autre part, certaines périodes de la journée sont également plus chargées que d'autres. C'est ainsi que le service se voit être en surcharge quotidiennement entre 18h00 et minuit, avec des vagues d'arrivées de patients vers 18h00, puis 20h00, et enfin 23h30-minuit. Ces pics sont dus au fait que le SUP traite, comme son nom l'indique, des malades en bas âges, et que, par conséquent, ils viennent avec leurs parents en fin de journée, après l'école et après la sortie des bureaux.

En période d'affluence normale, c'est-à-dire pendant la journée et le soir à partir de 1h00 du matin, l'attente des patients n'est plus due à l'affluence, mais au temps normal de traitement des examens médicaux du patient.

## **III.3 Modélisation du SUP à l'aide de l'outil Workflow**

L'élaboration d'un modèle demande des compromis. En effet, un modèle aussi élaboré soit-il, il n'est jamais le reflet exact de la réalité, il est toujours nécessaire de choisir le point de vue que l'on va adopter pour le modèle, les flux que l'on va mettre en avant et

ceux qui seront simplement signalés de manière plus anecdotique, les interactions avec l'extérieur du système que nous choisirons de développer ou non. Ainsi, tout au long de notre élaboration d'un modèle pour le SUP de l'hôpital Jeanne de Flandres, nous avons choisi de complexifier progressivement la représentation, pour nous assurer de ne pas nous écarter de la réalité mais bien d'affiner peu à peu notre recherche jusqu'à l'obtention d'un résultat fiable sur lequel nous avons pu nous reposer.

Le Workflow nous permet de représenter des suites de tâches et de processus liés et ordonnés. Le logiciel choisi pour réaliser cette modélisation est BonitaSoft, car il a l'avantage d'intégrer un outil de simulation de modèle permettant de se rendre compte de l'activité et la répartition de l'attente sur le parcours complet du patient.

Le modèle que nous proposons est générique permettant de représenter n'importe quel parcours patient au SUP. Cependant, chaque instance du modèle représente un parcours patient à part entière et pour chaque parcours, un même patient (représentant ici le flux) passe d'une étape à une autre dans le processus de prise en charge.

Dans un premier temps nous évoquons la modélisation de référence en régime « normal », dans lequel les ressources sont disponibles en quantité nécessaire pour satisfaire les besoins de tous les arrivants avec une utilisation « normale ». Ainsi on peut facilement connaître les ressources utilisées pour un patient en connaissant le parcours qu'il a effectué.

Dans un second temps, nous développons la modélisation en régime de « tension ». Cette modélisation est plus complexe car les ressources ne sont plus affectées aux tâches selon les quantités prédéfinies dans le but de gérer le flux d'entrée trop important. Si l'on préfère reproduire les processus du régime « normal », on est parfois amené à utiliser les salles ou à répartir son temps pour les différentes tâches de manières plus inhabituelles. Ceci se traduit en un nombre accru de parcours possible et complexifie donc la modélisation.

### **III.3.1 Modélisation workflow en régime « normal »**

Cette modélisation rend compte de l'organisation du service des urgences pédiatriques en fonctionnement normal, elle est donc relativement simple compte tenu de la taille

assez modeste du service et du fait que la majorité des causes de la venue aux urgences sont récurrentes et les médecins habitués à faire suivre au patient une sorte de parcours-type propre à la pathologie ou blessure dont il souffre. Ainsi tous les patients venant pour des maladies courantes lors des épisodes d'épidémie en hiver (comme la grippe ou la gastro-entérite) ont des parcours similaires, de même pour les patients souffrant d'une fracture (non-ouverte).

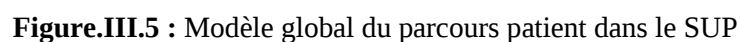
Il y aura bien sûr quelques variations pour s'adapter au patient et s'assurer de traiter au mieux les symptômes qu'il présente mais dans l'ensemble, on peut considérer que les parcours-types sont représentatifs de ce mode de fonctionnement du service.

D'après les visites que nous avons effectuées au SUP et l'aide précieuse apportée par le staff médical ainsi que les observations faites par EVALAB (notre partenaire du projet HOST). Il apparaît que 5 grandes catégories de soins sont apportées :

- Les consultations, qui ont lieu dans un box (Box).
- Unité d'hospitalisation de courte durée (UHCD).
- Les sutures et plâtres, chacun effectué dans une salle dédiée (Soins Externes).
- L'hospitalisation traditionnelle, où le patient est alors envoyé dans un autre service de l'hôpital (HT).
- Les opérations pour les urgences vitales, réalisées dans un bloc opératoire (UV).

Ces 5 processus sont donc au cœur de notre modélisation. Cependant pour obtenir une image fiable du temps d'attente, et travailler ensuite à sa limitation, il est nécessaire d'avoir une vision plus large, plus globale du parcours patient, qui pourrait contenir des processus en amont de l'admission aux urgences, susceptibles d'influencer ensuite la prise en charge, et donc de générer de l'attente dans le service même. L'entrée dans l'hôpital et les formalités administratives ont été prises en compte. En effet une interface graphique a été intégrée pour la mise en œuvre de la solution, permettant ainsi de saisir les données du patient lors de certaines étapes de la prise en charges dont son accueil. Cette interface est un premier pas vers la façon d'intégrer notre futur outil au système d'information existant du service, et la réflexion aux interactions qu'aura le personnel hospitalier avec ce dernier pour permettre un lissage effectif des pics d'affluence.

Le modèle global du parcours patient au SUP du CHR de Lille est présenté par la figure.III.5. Nous avons identifié 3 étapes principales du parcours : 1) l'arrivée et l'accueil du patient ainsi qu'une première estimation de son état 2) sa prise en charge, son orientation et réorientation si nécessaire et enfin 3) le choix de sa destination.



D'autre part, nous constatons l'incertitude liée aux soins des patients dans le SUP et les risques qui peuvent surgir au cours de leurs chemins. Cette incertitude confirme la

complexité du système de soins aux urgences. Il est également intéressant de voir que certaines activités de ces processus sont décisionnelles. Ces décisions sont exprimées dans le modèle en plusieurs points de synchronisation  $PS_i$  ( $1 \leq i \leq 6$ ) appelés point de décision, dans la Figure III.5. Ces composants graphiques, appelées des branchements conditionnels (Chapitre II), sont utilisés pour contrôler le comportement de la séquence de flux au sein du processus de prise en charge. Les points de décision  $PS_i$  ( $1 \leq i \leq 6$ ) du modèle global de workflow sont détaillés comme suit:

- **$PS_1$**  : Montre le type de l'arrivée perçu par le patient: urgent et non urgent. Si le patient suppose que son cas est urgent, il va directement à l'accueil et l'orientation. Sinon, il va à l'enregistrement.
- **$PS_2$**  : Contrôle l'enregistrement et l'orientation des patients.
- **$PS_3$**  : Diriger le patient à l'urgence vitale (UV) ou à la salle d'attente.
- **$PS_4$**  : Ce point est central, car il représente le point d'entrée du goulot d'étranglement. Il dirige les patients dans la prise en charge de l'unité appropriée en fonction de leurs pathologies.
- **$PS_5$**  : ce point est important car il représente le point du modèle global de sortie du goulot d'étranglement. Il redirige les patients vers l'une des destinations ci-dessous:
  - o **Salle d'attente**: dans ce cas, le patient doit attendre avant la continuité de ses soins. Par exemple, il doit attendre les résultats de l'IRM ou Scanner.
  - o **Autres unités**: dans ce cas, le patient revient à l'une des unités du SUP. Ces unités sont: Soins externes, UHCD, UV, Box et HT. Nous notons que dans les UHCD et UV, les lits et les chambre restent disponibles pour le même patient pendant ses soins. Cette information est très importante pour établir des processus d'ordonnancement.
  - o **Transfert**: dans ce cas, le patient sera transféré à un autre établissement de soins avec un "brancardier".
  - o **Unité des examens complémentaires (UEC)**: le patient doit faire des examens complémentaires pour le diagnostic.

- o **Sortie:** le patient retourne à la maison avec une bonne qualité de soins grâce à notre système.
- **PS<sub>6</sub>:** après les examens complémentaires, le patient est de retour à la salle d'attente ou UHCD.

### **III.3.1.1 La transition entre deux tâches et le paramétrage des nœuds**

Il existe plusieurs moyens de définir le passage d'une tâche à la suivante ou la direction à prendre après un nœud (point de jonction de flux pouvant ensuite le réorienter). On peut définir une direction de manière conditionnelle ou probabiliste. Leur impact sur le processus et le parcours modélisé étant différent, nous adoptons les deux types de transitions : conditionnelle pour la phase de modélisation et probabiliste pour la phase de simulation.

Les données du modèle sont représentées par des variables (globales au processus ou locales si elles n'interviennent qu'au niveau d'une tâche spécifique), et de répartir les flux arrivant aux nœuds selon les valeurs de ces variables. Par exemple, un patient dans un état non critique qui n'aurait pas effectué son enregistrement au service administratif serait automatiquement redirigé vers ce dernier pour respecter le protocole d'admission.

Pendant la phase de simulation et afin de répartir correctement le flux d'entrée des patients entre les différentes tâches, on utilise la méthode probabiliste, attribuant à chaque tâche une probabilité d'être effectuée pour un patient. Les pourcentages que nous attribuons pour ces transitions proviennent de l'exploitation des bases de données fournies par l'hôpital, qui récapitulent notamment sur une année les heures d'entrée et de sorties des patients, et la cause de la venue aux urgences.

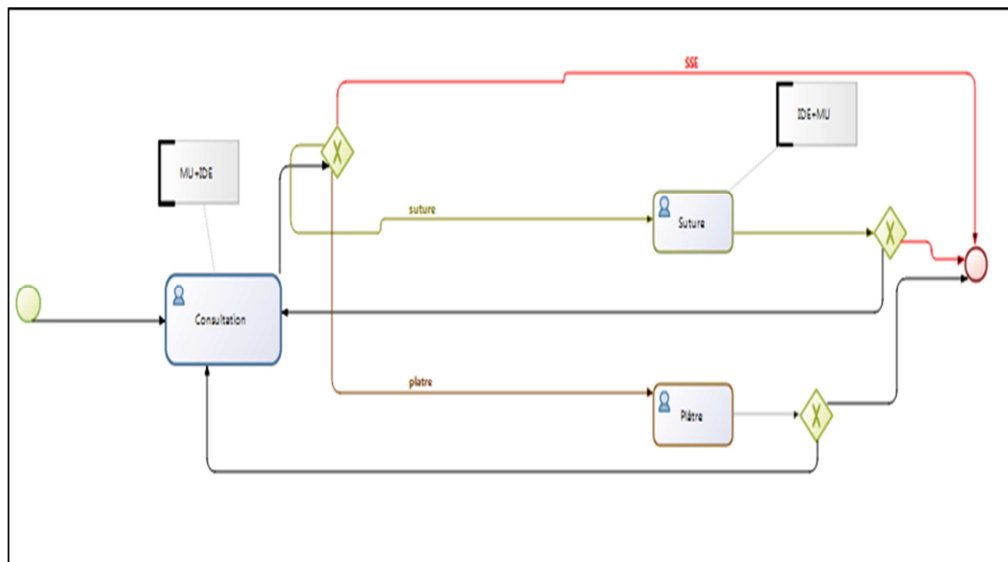
### **III.3.1.2 Les sous-processus**

Le processus global, décrit le parcours du patient depuis son entrée dans l'hôpital jusqu'à sa sortie. Il intègre également les sous-processus qui regroupent un ensemble de tâches dans un seul bloc. Par exemple pour les tâches de plâtre ou de suture sont regroupés dans le sous-processus « Soins externes ». En effet, ces deux tâches peuvent engendrer un nombre plus élevé d'examen et de vérifications qu'une simple

consultation dans un box sans équipement spécial. Les transitions propres à ce type de soins surchargeraient le schéma si elle apparaissait directement dans le processus principal, ne facilitant la compréhension ni de ce dernier, ni de la tâche « plâtre ou suture ».

#### a) *Sous-processus : Soins Externe*

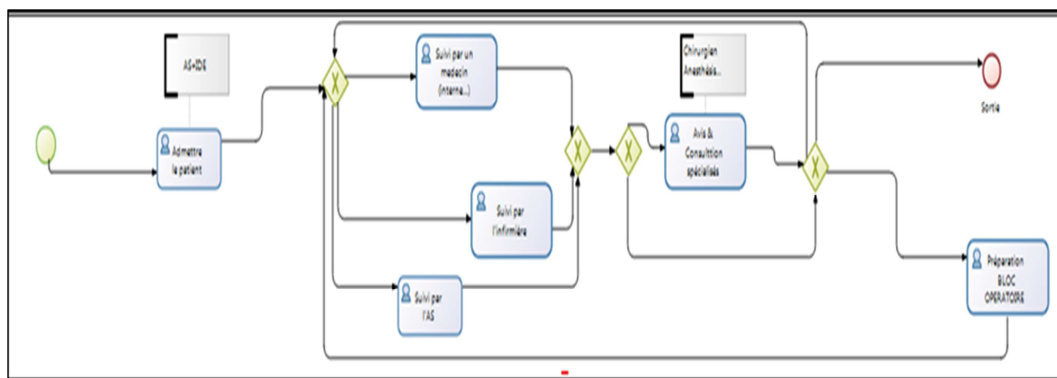
Le sous-processus correspondant aux Soins Externe est présenté dans la figure III.6. Les opérations prévues dans ces deux salles (suture et plâtre) nécessitent des ressources médicales spécifiques. Ces opérations sont des opérations programmées non urgentes qui représentent ainsi une flexibilité supplémentaire dans l'ordonnancement des opérations de soins face à des aléas qui peuvent survenir dans le SUP.



**Figure.III.6** : Modélisation dans soins externe

#### b) *Sous-processus : L'Unité Hospitalisation Courte Durée (UHCD)*

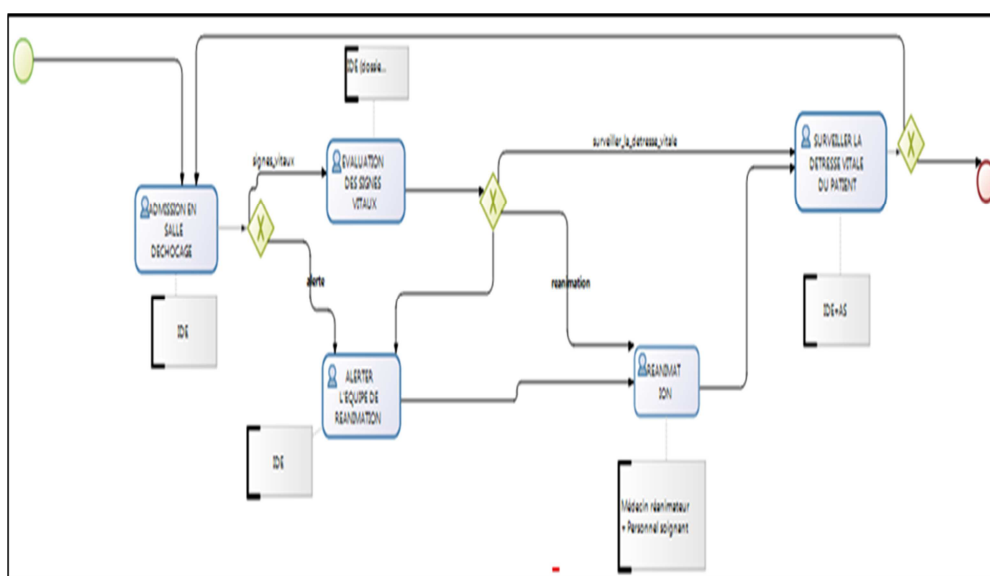
L'Unité Hospitalisation Courte Durée, présentée par la figure III.7, reçoit les patients nécessitant une période d'observation, exigeant probablement des tests, avec la possibilité d'admission dans la salle d'opérations pour des actes chirurgicaux supplémentaires. Le patient dans l'UHCD monopolise considérablement les ressources humaines pendant des intervalles de temps différents. A la fin du processus de l'UHCD, le patient quitte le SUP en rentrant chez lui ou en étant admis dans un autre service ou un autre établissement de soins.



**Figure.III.7 : Modélisation dans Unité d'Hospitalisation Courte Durée**

**c) Sous-processus : Urgence Vitale (UV)**

Le sous-processus correspondant à l'UV est présenté par la figure III.8. Cet endroit est un lieu d'urgence vitale dans le SUP où les patients sont examinés afin d'évaluer leurs signes vitaux. Les résultats de ces évaluations permettent au personnel médical de diriger le patient aux soins intensifs et si nécessaire d'alerter l'équipe de réanimation. En effet, le suivi de l'état de santé des patients est nécessaire dans cette unité. Les équipements de la salle d'UV sont vérifiés quotidiennement et après chaque utilisation.



**Figure.III.8 : Modélisation Urgence Vitale**

Le fonctionnement du SUP au régime normal étant par définition la situation idéale de référence qui permet de répondre aux besoins des patients sans que cela exige une

augmentation des ressources disponibles. Cependant, comme nous avons expliqué dans ce chapitre le régime normal dans les SUP ne peut pas être envisagé comme une solution pour résoudre l'engorgement du service. Pour cela, nous avons opté pour une modélisation en régime de tension afin de prendre en compte les conséquences de l'afflux des patients, notamment sur le temps d'attente. L'idéal dans notre cas est que le SUP retrouve le plus rapidement possible le fonctionnement en régime normal, correspondant au régime de référence.

### **III.3.2 Modélisation workflow en régime de « Tension »**

Lors des périodes de pics d'activité, le SUP, principale porte d'entrée des enfants malades à l'hôpital quelle que soit leur gravité, déborde. La salle d'attente n'est plus suffisamment grande, les parents s'entassent dans les couloirs étriés du service avec leurs enfants en bas âges et le temps d'attente de ces derniers explose. En effet, ce dernier peut atteindre jusqu'à 5 heures au plus fort des afflux entrants alors qu'en régime « normal », ce temps n'est que de 2 heures en moyenne. Le service bascule alors dans une nouvelle phase de fonctionnement, que nous appelons de « tension », afin de fluidifier les flux patients. L'idée est de sortir du cadre rigide et théorique du fonctionnement du service et de s'adapter à la réalité.

Ainsi, lors des pics d'activité, les médecins prennent l'initiative de réquisitionner toutes les ressources disponibles, quelles que soit leurs spécificités théoriques, afin de les utiliser à leur guise, c'est-à-dire en fonction des besoins des patients. Dès lors, les ressources de type « salle » voire de type « lit », ou même certaines ressources humaines peuvent être « *dépécifiées* » lors de certaines tâches. Typiquement, une consultation qui s'opère en temps normal dans un box pourra être faite dans une salle de plâtre ou de suture si ces dernières ne sont pas utilisées. Ainsi, les demandes en ressources sont harmonisées.

Finalement, un tel fonctionnement permet d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles au sein du SUP en fonction des besoins afin de réduire un peu le temps d'attente des patients tout en continuant à dispenser des prestations de bonne qualité.

### **III.3.2.1 Définition du parcours patient en régime « tension »**

La spécificité du fonctionnement du SUP en période de pic d'activité nous a donc conduits à définir un nouveau parcours patient, parcours qui tient compte de la possibilité d'utiliser des ressources non dédiées comme les salles du service. Nous nous sommes focalisés sur cet aspect dans la redéfinition du parcours patient.

Ainsi, l'entrée, qui est purement administrative, ne change absolument pas par rapport à la modélisation en régime « normal » du parcours patient. En effet, il s'agit d'enregistrer correctement le patient selon des critères purement administratifs et législatifs. De surcroît, cette opération ne relève pas entièrement du SUP, mais également des services administratifs de l'hôpital. Finalement, on ne peut pas y toucher, ni nous, ni les médecins.

Pour ce qui est de la sortie, elle non plus n'est pas modifiée, puisqu'il n'y a aucune raison que les patients soient réorientés différemment en fonction de la charge d'activité pesant sur le personnel médical. Effectivement, le principe fondamental qui régit le fonctionnement de l'hôpital est que chacun a le droit aux mêmes prestations et aux mêmes soins, quelle que soit l'activité du service.

Le parcours du patient se complexifie donc en chemin, la plupart du temps sans que les parents du patient ne s'en aperçoivent. Chaque prestation (simple consultation, opération, plâtre, hospitalisation courte durée, etc.) peut être réalisée dans différentes salles. Il convient alors, après avoir trié les patients en fonction des soins qu'ils doivent recevoir, de les séparer à nouveau en fonction de la salle dans laquelle ils doivent les recevoir. Cette opération démultiplie ainsi les possibilités de prise en charge du patient, et complexifie donc fortement le parcours patient.

En outre, ce second tri doit être correctement modélisé, puisqu'il ne suit pas de règles explicitement formulées. En effet, c'est le médecin qui choisit, en dernier lieu, dans quelle salle il envoie ses patients. Nous avons donc fait de notre mieux pour rendre le parcours le plus proche de la réalité en y ajoutant les règles de priorité établies avec les personnel médical du SUP. C'est ainsi que la salle d'Urgence Vitale n'est utilisée qu'en dernier recours puisqu'elle est vouée à accueillir les patients dont le processus vital est engagé. D'autre part, la salle dédiée par défaut aux soins en question, est celle qui est

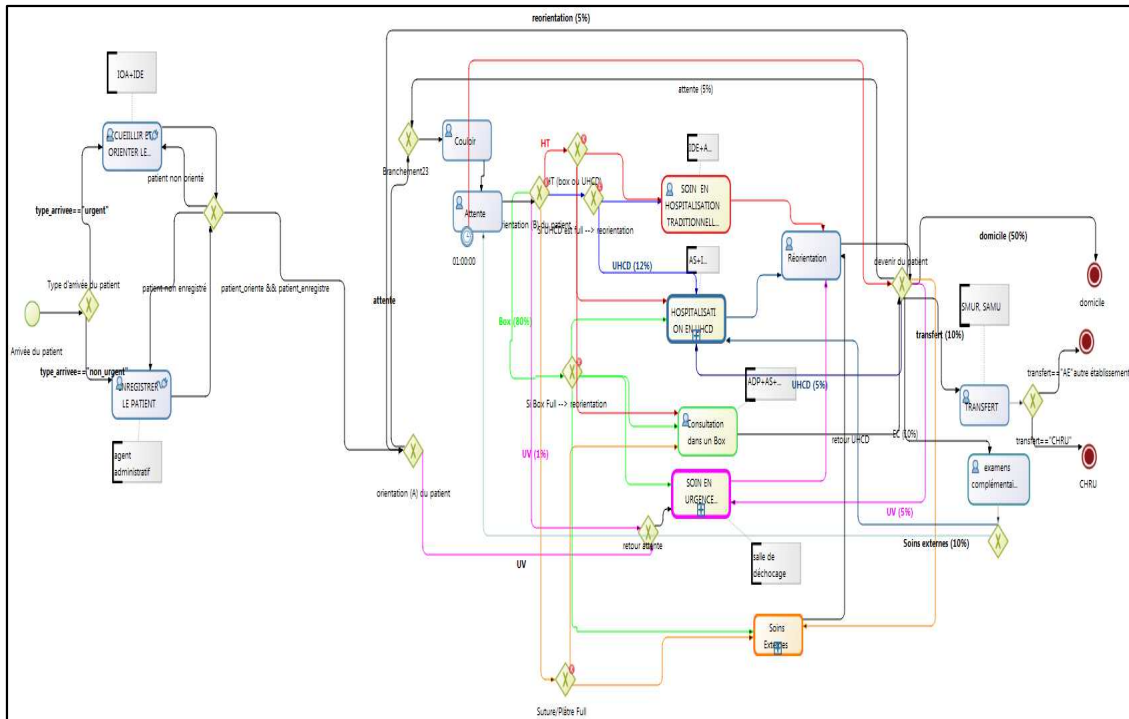
prioritairement utilisée. Puis, entre les deux, les autres salles qui sont automatiquement assignées, sans priorité particulière.

### **III.3.2.2 Modèle global du parcours patient en régime « tension »**

En mode de tension, le rythme de l'activité au sein du SUP est très difficile à planifier et présente très souvent des pics d'activité. Des unités comme l'Urgence Vitale et le bloc opératoire doivent systématiquement être disponibles pour accueillir les patients en état grave. Les pics d'activité dépendent également 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.

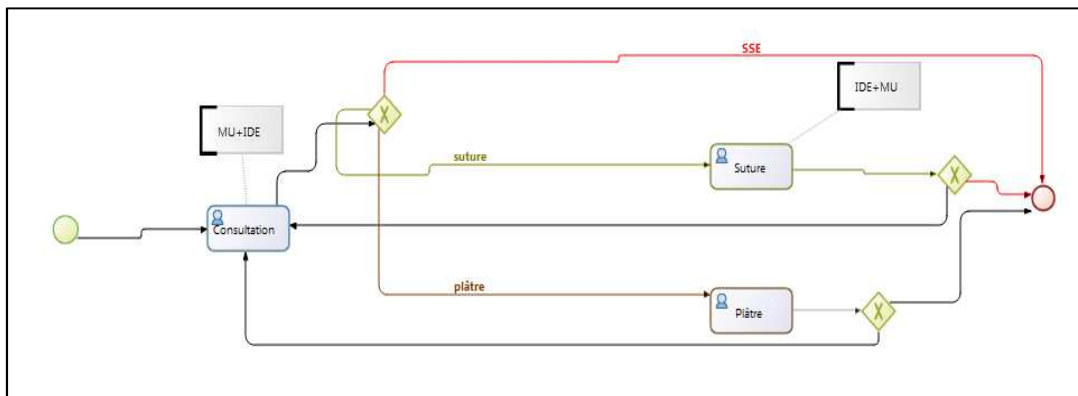
D'autre part, la salle d'attente est insuffisante en période de tension pour assurer un minimum de confort aux parents. Ces derniers s'entassent dans les couloirs et leur temps d'attente explose. D'où la représentation du couloir dans le modèle comme une salle d'attente temporaire à part entière.

La figure III.9 représente le modèle Workflow suivant du parcours patient en régime de « tension ».



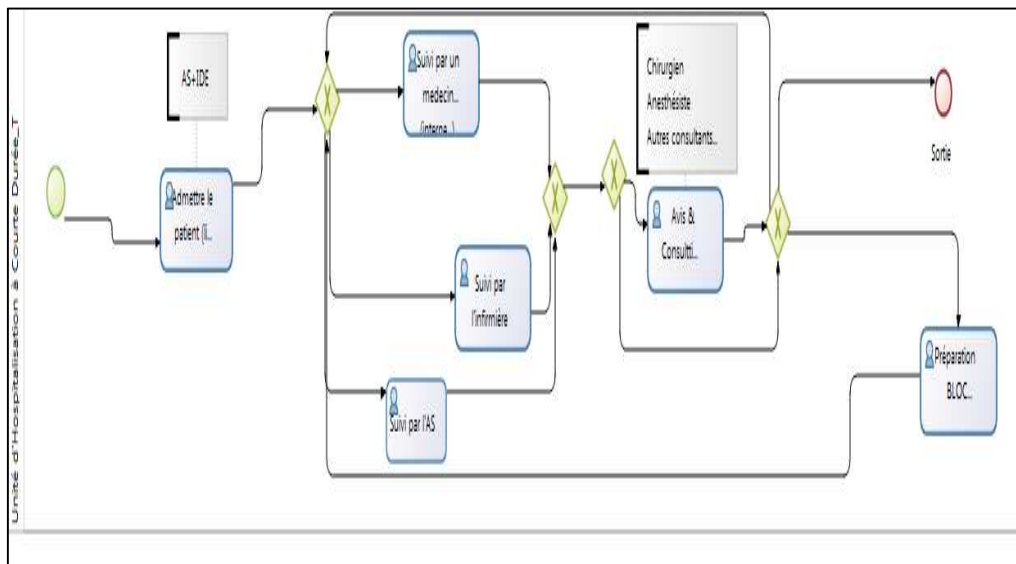
**a) Sous-processus : Soins Externe en régime sous « Tension »**

Le sous-processus correspondant aux Soins Externe est présenté par la figure III.10. En régime tension les salles de suture et de plâtre ne sont pas dédiées et donc on peut allouer ces ressources à d'autres patients pour être utilisées comme un box ou un UHCD.



**b) Sous-processus : UHCD en régime sous « Tension »**

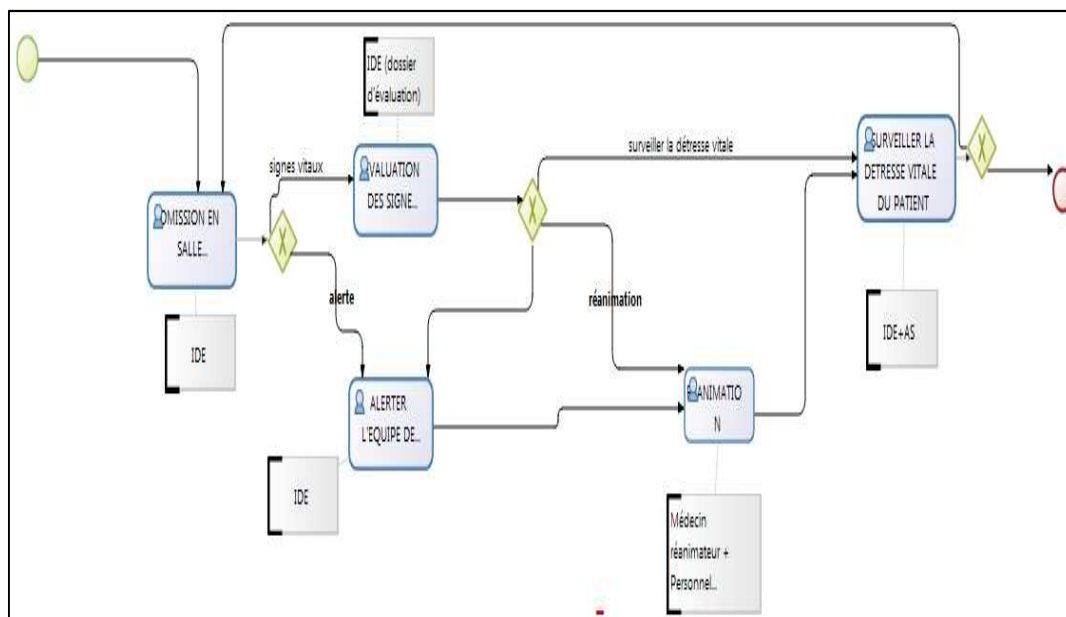
L'UHCD en régime tension, présenté par la figure III.11, reçoit non seulement les patients nécessitant une période d'observation mais aussi des patients de l'Urgence Vitale ou bien des box.



**Figure.III.11 : Workflow en UHCD en régime tension**

**c) Sous-processus : Urgence Vitale en régime sous « Tension »**

Le sous-processus correspondant à UV en mode tension est présenté par la figure III.12. Cette salle est normalement dédiée au soin vital urgent mais si elle n'est pas occupée, elle pourra servir temporairement à une consultation rapide pour un patient afin d'absorber le flux en régime tension.



**Figure.III.12 :** Workflow de l'UV en régime tension

### III.4 Les premiers pas vers la simulation

L'étape de modélisation étant indispensable pour réaliser des simulations. Ces dernières auront lieu à partir des données portant sur trois années d'activités au SUP du CHRU de Lille. Nous disposons des données anonymes sur les admissions. Nous avons 23 150 patients en 2011 (échantillon de données dans le tableau III.1) et 24 039 en 2012 (échantillon de données dans le tableau III.2).

**Tableau.III.1: Echantillon de données anonymes en 2011**

| N° | Ar. date         | Addres<br>sed by     | Ar.<br>mean | Origin       | Transit<br>time | Exit<br>date     | trauma<br>tology | Reside<br>nce<br>CAC | Statu<br>s  | age<br>(month<br>s) | sex | Main<br>diagnosis                                                                         | CCM<br>U | imagi<br>ng | ultrasoun<br>d | scanne<br>r | radiolo<br>gy | GEMS<br>A | desti<br>natio<br>n |
|----|------------------|----------------------|-------------|--------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------|-------------|---------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|----------------|-------------|---------------|-----------|---------------------|
| 1  | 01/01/2011 00:02 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 39              | 01/01/2011 00:41 |                  | 3091                 | Médic<br>al | 90                  | F   | Otite<br>moyenne<br>aiguë<br>suppurée                                                     | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 2  | 01/01/2011 00:11 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 499             | 01/01/2011 08:30 |                  | 3092                 | Médic<br>al | 9                   | F   | Commotion<br>cérébrale,<br>sans plaie<br>intracrânienne                                   | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 3  | 01/01/2011 00:21 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 47              | 01/01/2011 01:08 |                  | 3091                 | Médic<br>al | 34                  | F   | Rash et<br>autres<br>éruptions<br>cutanées non<br>spécifiques                             | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 4  | 01/01/2011 01:02 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 24              | 01/01/2011 01:26 |                  | 3092                 | Médic<br>al | 62                  | F   | Difficulté liée<br>à<br>l'environneme<br>nt social, sans<br>précision                     | 1        | non         | non            | non         | non           | 4         | pneu<br>mo          |
| 5  | 01/01/2011 01:31 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 57              | 01/01/2011 02:28 |                  | 3091                 | Médic<br>al | 17                  | M   | Pharyngite<br>(aiguë), sans<br>précision                                                  | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 6  | 01/01/2011 02:09 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 72              | 01/01/2011 03:21 |                  | 3091                 | Médic<br>al | 3                   | F   | Rhinopharyng<br>ite (aiguë)<br>[rhume banal]                                              | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 7  | 01/01/2011 02:20 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 80              | 01/01/2011 03:40 |                  | 3091                 | Médic<br>al | 9                   | F   | Pharyngite<br>(aiguë), sans<br>précision                                                  | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 8  | 01/01/2011 03:43 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 63              | 01/01/2011 04:46 |                  | 3091                 | Médic<br>al | 17                  | M   | Pharyngite<br>(aiguë), sans<br>précision                                                  | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 9  | 01/01/2011 04:26 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 61              | 01/01/2011 05:27 |                  | 3091                 | Médic<br>al | 6                   | M   | Gastroentérite<br>s et colites<br>d'origine<br>infectieuse,<br>autres et non<br>précisées | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 10 | 01/01/2011 06:49 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 176             | 01/01/2011 09:45 |                  | 3092                 | Médic<br>al | 2                   | M   | Insuffisance<br>respiratoire<br>aiguë                                                     | 3        | oui         | non            | non         | oui           | 4         | pneu<br>mo          |
| 11 | 01/01/2011 07:02 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 61              | 01/01/2011 08:03 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 22                  | M   | Otite<br>moyenne,<br>sans précision                                                       | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 12 | 01/01/2011 09:34 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 78              | 01/01/2011 10:52 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 6                   | M   | Néphrite<br>tubulo-<br>interstitielle<br>aiguë                                            | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 13 | 01/01/2011 09:46 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 72              | 01/01/2011 10:58 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 6                   | F   | Rhinopharyng<br>ite (aiguë)<br>[rhume banal]                                              | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 14 | 01/01/2011 10:13 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 84              | 01/01/2011 11:37 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 64                  | F   | Pharyngite<br>(aiguë), sans<br>précision                                                  | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 15 | 01/01/2011 10:25 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 122             | 01/01/2011 12:27 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 62                  | F   | Gastroentérite<br>s et colites<br>d'origine<br>infectieuse,<br>autres et non<br>précisées | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 16 | 01/01/2011 10:50 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 1500            | 02/01/2011 12:19 | N                | 3092                 | Médic<br>al | 14                  | M   | Convulsions,<br>autres et non<br>précisées                                                | 2        | non         | non            | non         | non           | 4         | NEU<br>ROP<br>ED    |
| 17 | 01/01/2011 10:56 | AUTRE<br>MEDEC<br>IN | perso       | domicil<br>e | 105             | 01/01/2011 12:41 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 10                  | M   | Balano-<br>posthite                                                                       | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 18 | 01/01/2011 11:14 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 60              | 01/01/2011 12:14 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 25                  | M   | Otite<br>moyenne,<br>sans précision                                                       | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 19 | 01/01/2011 11:27 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 155             | 01/01/2011 14:02 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 41                  | F   | Plaie ouverte<br>de la lèvre et<br>de la cavité<br>buccale                                | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 20 | 01/01/2011 11:42 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 362             | 01/01/2011 17:44 | N                | 3092                 | Médic<br>al | 20                  | F   | Insuffisance<br>respiratoire<br>aiguë                                                     | 3        | oui         | non            | non         | oui           | 4         | pneu<br>mo          |
| 21 | 01/01/2011 12:11 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 30              | 01/01/2011 12:41 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 125                 | F   | Varicelle<br>(sans<br>complication)                                                       | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 22 | 01/01/2011 12:21 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 89              | 01/01/2011 13:50 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 2                   | F   | Rhinopharyng<br>ite (aiguë)<br>[rhume banal]                                              | 1        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |
| 23 | 01/01/2011 12:26 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 132             | 01/01/2011 14:38 | N                | 3092                 | Médic<br>al | 6                   | F   | Insuffisance<br>respiratoire<br>aiguë                                                     | 2        | oui         | non            | non         | oui           | 4         | epide<br>mio        |
| 24 | 01/01/2011 12:37 | NON                  | perso       | domicil<br>e | 167             | 01/01/2011 15:24 | N                | 3091                 | Médic<br>al | 35                  | M   | Nausées et<br>vomissements                                                                | 2        | non         | non            | non         | non           | 2         | DOMI<br>CILE        |

**Tableau.III.2 : Echantillon de données anonymes en 2012**

| N° | Ar. date         | Addres sed by       | Ar. mean          | origin                     | Transit time | Exit date | trauma tology    | Reside nce CAC | Status | age (month s) | sex | Main diagno sis | CCMU                                                                                  | imaging | ultraso und | scanner | radi ology | GEMS A | destina tion |
|----|------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|--------------|-----------|------------------|----------------|--------|---------------|-----|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|---------|------------|--------|--------------|
| 1  | 01/01/2012 00:15 | NON                 | MOYENS PERSONNELS | SERVICE URGENCE AUTRES URG | 1h 4m        | 64        | 01/01/2012 01:19 |                | 3091   | Médical       | 32  | M               | Commo tion cérébra le, sans plaie intracrâ nienne                                     | 1       | Non         | Non     | Non        | Non    | 2            |
| 2  | 01/01/2012 01:19 | NON                 | MOYENS PERSONNELS | CONSULTATI ON OU DOMIC ILE | 0h 51m       | 51        | 01/01/2012 02:10 | O              | 3091   | Chirurgi e    | 182 | M               | Plaie ouverte du cuir chevelu                                                         | 2       | Non         | Non     | Non        | Non    | 2            |
| 3  | 01/01/2012 01:58 | SAMU / CENTRE 15    | AMBULANCE PRIVE E | SERVICE URGENCE AUTRES URG | 9h 32m       | 572       | 01/01/2012 11:30 |                | 3092   | Médical       | 181 | F               | COMA : intoxication ALCOOL                                                            | 2       | Non         | Non     | Non        | Non    | 2            |
| 4  | 01/01/2012 03:00 | NON                 | MOYENS PERSONNELS | SERVICE URGENCE AUTRES URG | 8h 7m        | 487       | 01/01/2012 11:07 | N              | 3084   | Chirurgi e    | 187 | M               | Affectio ns du testicul e et de l'épididy me au cours de maladie s classée s ailleurs | 2       | Oui         | Non     | Non        | Oui    | 4            |
| 5  | 01/01/2012 03:51 | SAMU / CENTRE 15    | SAMU-SMUR         | SERVICE URGENCE AUTRES URG | 2h 29m       | 149       | 01/01/2012 06:20 | N              | 3092   | Médical       | 4   | M               | Bronchi olite (aiguë), sans précisio n                                                | 3       | Non         | Non     | Non        | Non    | 5            |
| 6  | 01/01/2012 06:02 | NON                 | MOYENS PERSONNELS | CONSULTATI ON OU DOMIC ILE | 5h 47m       | 347       | 01/01/2012 11:49 | N              | 3091   | Médical       | 36  | M               | Otite moyenn e aiguë suppur ée                                                        | 2       | Oui         | Non     | Non        | Oui    | 2            |
| 7  | 01/01/2012 06:49 | NON                 | MOYENS PERSONNELS | CONSULTATI ON OU DOMIC ILE | 1h 17m       | 77        | 01/01/2012 08:06 | N              | 3091   | Médical       | 16  | F               | Otite moyenn e aiguë suppur ée                                                        | 2       | Non         | Non     | Non        | Non    | 2            |
| 8  | 01/01/2012 08:25 | NON                 | MOYENS PERSONNELS | CONSULTATI ON OU DOMIC ILE | 1h 12m       | 72        | 01/01/2012 09:37 |                | 3091   | Médical       | 12  | F               | Rhinop haryngit e (aiguë) [rhume banal]                                               | 1       | Non         | Non     | Non        | Non    | 2            |
| 9  | 01/01/2012 09:49 | MEDECIN TRAITEMENT  | MOYENS PERSONNELS | CONSULTATI ON OU DOMIC ILE | 2h 43m       | 163       | 01/01/2012 12:32 |                | 3091   | Médical       | 53  | M               | Douleur thoraciq ue, sans précisio n                                                  | 2       | Oui         | Non     | Non        | Oui    | 2            |
| 10 | 01/01/2012 10:39 | NON                 | AMBULANCE PRIVE E | SERVICE URGENCE AUTRES URG | 1j 0h        | 1440      | 02/01/2012 10:54 |                | 3092   | Médical       | 12  | F               | Fièvre, sans précisio n                                                               | 2       | Oui         | Non     | Non        | Oui    | 2            |
| 11 | 01/01/2012 11:04 | NON                 | MOYENS PERSONNELS | CONSULTATI ON OU DOMIC ILE | 3h 15m       | 195       | 01/01/2012 14:19 |                | 3091   | Médical       | 9   | F               | Commo tion cérébra le                                                                 | 1       | Non         | Non     | Non        | Non    | 2            |
| 12 | 01/01/2012 11:10 | MEDECIN HOSPITALIER | MOYENS PERSONNELS | CONVOCATI ON PAR L'HOPITAL | 2h 24m       | 144       | 01/01/2012 13:34 |                | 3091   | Médical       | 175 | M               | Gastroe ntérites et colites d'origin e infectie use, autres et non précisés           | 1       | Non         | Non     | Non        | Non    | 2            |
| 13 | 01/01/2012 11:44 | NON                 | MOYENS PERSONNELS | CONSULTATI ON OU DOMIC ILE | 0h 49m       | 49        | 01/01/2012 12:33 |                | 3091   | Chirurgi e    | 39  | M               | Plaie ouverte d'autres parties de la tête                                             | 2       | Non         | Non     | Non        | Non    | 2            |

### **III.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons appliqué une démarche structurée pour rencontrer régulièrement le personnel médical du SUP afin de comprendre son fonctionnement. Nous avons donc réalisé plusieurs entretiens, visites, observations et suivis des patients. Cette étape était nécessaire pour analyser et identifier les dysfonctionnements au SUP. A partir d'une exploitation préliminaire des données fournies par les responsables du SUP, nous avons pu établir un schéma général du parcours patient et mettre en évidence les périodes d'activité au sein du service. Nous avons également présenté notre modélisation Workflow du SUP en tenant compte à la fois de ces spécificités organisationnelles et de la nature de son activité. D'où la distinction entre d'une part le processus et les sous processus, et d'autre part le régime normal et le régime sous tension.

Cette étape de modélisation a principalement été une préparation à la simulation ainsi que la création d'un schéma enrichi en informations et récapitulant l'essentiel du fonctionnement du service auquel nous pourrons nous référer tout au long de notre travail. La simulation complète des deux régimes « normal » et « tension » sera détaillée dans le chapitre 5. Ces simulations nous ont permis d'identifier les indicateurs de tension et les pics d'activités au SUP du CHRU de Lille.

# **Chapitre IV** Architecture de résolution pour fluidifier les flux patients : vers une alliance Système Multi-Agent et Mètaheurestique

## **IV.1 Introduction**

Les problèmes dans les Services d'Urgence Pédiatrique (SUP) sont principalement relatifs aux flux imprévisibles de patients. Pour faire face à ces problèmes dans les (SUP), nous proposons un système multi-agent ouvert et dynamique pour gérer les problèmes de la prise en charge des patients. Ce système permettra d'optimiser le flux des patients, d'ordonnancer l'activité du processus du soin et de construire des plannings pour le personnel médical. Il garantira à termes une prise en charge rapide et de qualité tout en planifiant les ressources du système hospitalier.

Dans le cadre du présent chapitre, nous visons principalement de présenter l'Architecture Agent proposée (§IV.1) ainsi que les comportements des agents qui la compose (§IV.2). Dans la section (§IV.3) nous détaillerons le comportement de l'Agent Ordonnanceur dans la perspective d'une mise en œuvre de l'alliance SMA/Optimisation. La dernière section (§IV.4) portera sur l'orchestration du workflow par les agents avec des exemples mettront en évidence le fonctionnement de notre système.

## IV.2 Architecture Agent proposée

### IV.2.1 Le processus de prise en charge au SUP

Le SUP reçoit des patients de provenances diverses. Il y a des patients qui arrivent seuls, des patients emmenés par le SMUR<sup>15</sup>, 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. Ces étapes peuvent être décrites 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 de SUP, en salle de consultation ou en salle d'attente; il peut aussi être réorienté sur d'autres lieux mieux adaptés. Cette décision d'orientation est basée sur un pré-diagnostic de son état fait par l'Infirmière Orientation 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.

Le tableau en dessous montre la classification Clinique des Maladies aux Urgences (CCMU) :

| Classification | Définition                                                                                                                                                                                   | Orientation                |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>CCMU1</b>   | Etat lésionnel ou pronostic vital jugé stable et abstention d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique aux urgences.                                                                | <b>Unité fonctionnelle</b> |
| <b>CCMU2</b>   | Etat lésionnel ou pronostic fonctionnel jugé stable et décision d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique aux urgences.                                                            |                            |
| <b>CCMU3</b>   | 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. |                            |
| <b>CCMU4</b>   | Situation pathologique engageant le pronostic vital et dont la prise en charge ne nécessite pas de manœuvres de réanimation aux urgences.                                                    | <b>Unité grave</b>         |
| <b>CCMU5</b>   | Situation pathologique engageant le pronostic vital et dont la prise en charge comporte la pratique de manœuvres de réanimation.                                                             |                            |

**Tableau.IV.1** : Classification Clinique des Maladies aux Urgences (CCMU)

---

SMUR<sup>15</sup> Service Mobile d'Urgence et de Réanimation

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 debout», une zone d'attente «patients couchés» et éventuellement des zones distinctes en fonction de filières spécialisées.

Lorsque le patient est admis dans le service, la prise en charge est conjointe, infirmière et médicale. La sortie du patient est en fonction de l'orientation.

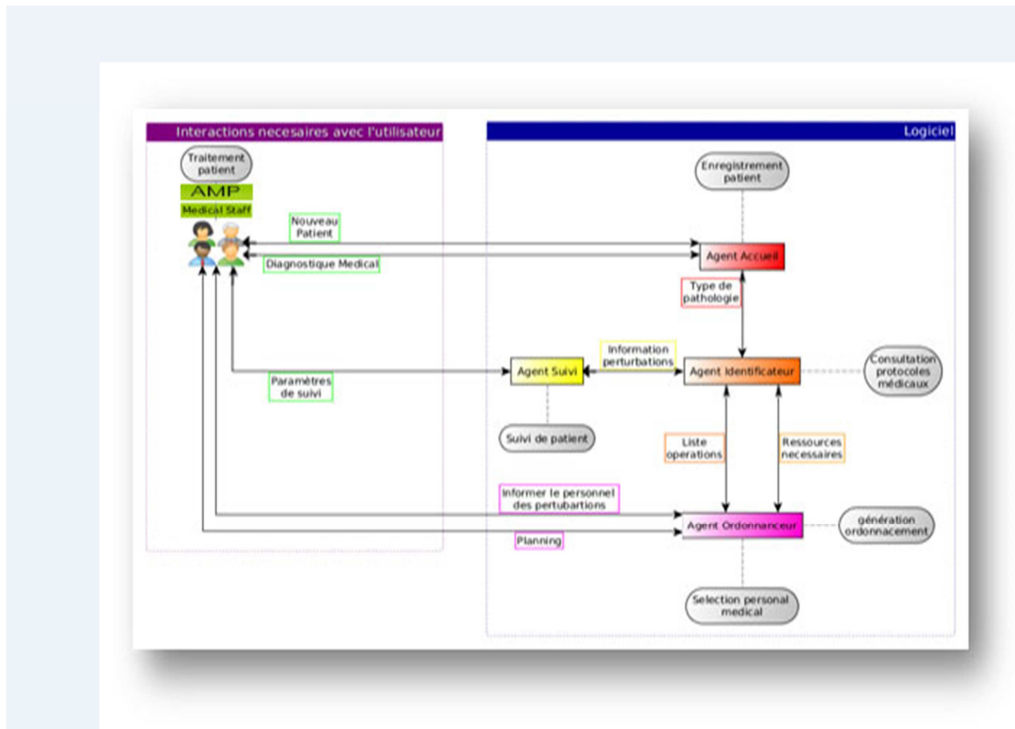
Loin de cette description sommaire, le processus de prise en charge du patient sera davantage complexe selon la CCMU et les interventions potentielles des acteurs multiples du SUP. Dans l'objectif de prendre en compte cette complexité, nous aurons besoin d'un système permettant d'intégrer les comportements et les rôles des différents intervenants autour du patient tout au long du processus d'hospitalisation.

#### IV.2.2 Système multi-Agent proposé

Suivant l'acheminement classique d'un patient au service d'urgences (figure.IV.1) et les caractéristiques des systèmes multi-agents, nous proposons un système dynamique et ouvert basé sur l'interaction de cinq types d'agents logiciels (Daknou et al. 2008). Nous proposons donc un système de 5 agents. Les rôles de chaque Agent seront comme suit:

- **Agent Accueil (AA)**: son rôle est annoncer l'arrivée d'un patient aux autres agents. Il enregistre le patient dans le service grâce aux informations données par le staff Médical.
- **Agent Identificateur (AIdf)**: son rôle est d'identifier les ressources nécessaires pour le diagnostic du patient.
- **Agent Ordonnanceur (AO)**: son rôle est d'optimiser le temps d'attente dans le service. Cet Agent joue le rôle de planification des tâches de tous les patients présents dans le service
- **Agent Suivi (AS)**: il est en charge de l'enregistrement des différents changements des opérations.
- **Agent(s) Mobile(s) Personnel (AMPs)** du staff médical : jouera le rôle de traitement du patient en utilisant le plan de traitement du patient.

Notre système est présenté par la figure (IV.1) ci-dessous.



**Figure.IV.1:** Architecture proposée à base d'agents

Selon notre modèle, le Staff Médical du service doit enregistrer les patients dans le logiciel. Ces informations sont envoyées à l'agent Accueil (**AA**). Ce dernier, lorsqu'il aura reçu toutes les informations nécessaires, il les renvoie à l'agent Identificateur (**AI**). Celui-ci doit prendre les différentes opérations liées au diagnostic indiqué à l'accueil, et peut informer l'agent Ordonnanceur (**AO**) des opérations qu'il doit ajouter au planning. L'agent Ordonnanceur exécute les méthodes nécessaires pour créer le planning le plus rapidement possible. Une fois que le planning créé, il est transmis au Staff Médical. Tous les changements par rapport à l'ancien planning sont reportés aussi. Au cours du traitement du patient, si le staff médical veut ajouter des observations, des nouvelles tâches ou diagnostics au traitement du patient, il enverra ces informations à l'agent suivi (**AS**) qui évaluera si l'(**AI**) doit être informé de ces changements ou si lui-même peut les prendre en charge.

Pour concevoir notre système multi-agent, nous nous référons à notre approche SMA-Métaheuristique proposée dans le deuxième chapitre. L'objectif principal est d'améliorer la prise en charge des patients au SUP en termes de temps d'attente, notamment en cas de perturbations liées aux événements imprédictibles.

#### IV.2.2.1 Agent Accueil

L'agent « Accueil » est constitué de quatre méthodes (ou fonctions informatiques) principales. Tout d'abord, il faut savoir qu'un patient arrivant au SUP pour une consultation doit obligatoirement être ajouté à la base de données de l'hôpital par un membre du personnel médical. Cet ajout se réalise grâce à l'agent « Accueil ». La personne responsable de l'accueil des patients renseigne le numéro de sécurité sociale du patient dans l'interface prévue à cet effet. La méthode « ***Check if patient exist*** » est alors appelée et distingue plusieurs cas :

- Si le dit numéro ne correspond à aucun numéro de sécurité sociale des patients présent dans la base de données alors le patient en question est ajouté à la base de données et à la liste des patients actuellement présents dans l'hôpital. Un dossier médical est créé et attribué au patient
- Si le patient est déjà dans la base de données alors l'agent « Accueil » l'ajoute à la liste des patients présents dans l'hôpital. Un dossier médical est également créé et attribué au patient.

Une fois le patient ajouté à la base de données, il peut être nécessaire de modifier ses informations caractéristiques, à savoir son nom, son prénom, sa date de naissance, son sexe et son adresse. La méthode « ***updatepatient*** » récupère les nouvelles informations renseignées dans l'interface et les enregistre dans la base de données afin de l'actualiser.

La méthode « ***showmedicalfile*** » permet aux membres du personnel médical de consulter le dossier médical d'un patient présent dans la base de données.

Enfin, lors de la consultation ayant pour but d'évaluer rapidement les symptômes du patient, le médecin ou l'infirmière met en évidence un ou plusieurs diagnostics. Ces derniers sont enregistrés dans le dossier médical du patient grâce à la méthode « ***setInitialDiagnosis*** ».

#### IV.2.2.2 Agent Identificateur

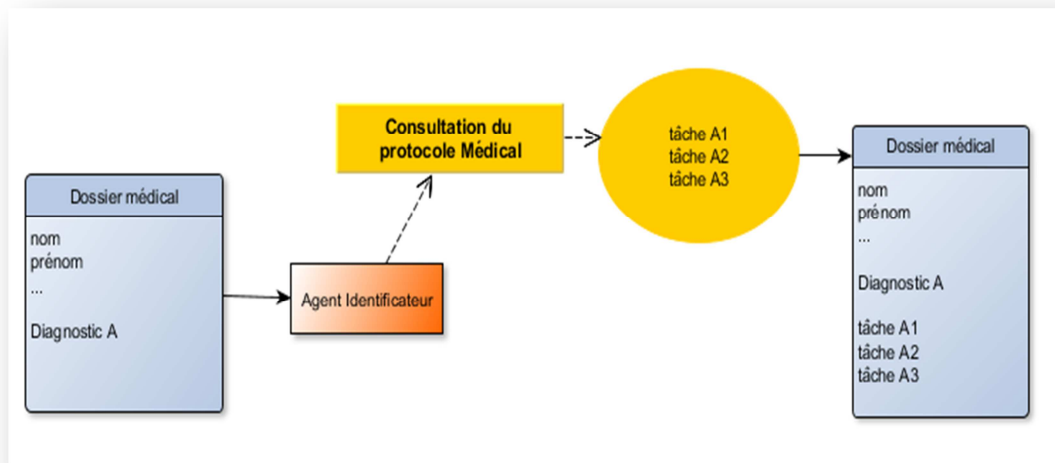
L'agent « Identificateur » reçoit toutes les informations provenant de l'agent « Accueil » d'un patient. Il reçoit donc le dossier médical complet du patient, contenant un certain nombre de diagnostics relevés par le médecin.

Cet agent joue le rôle d'un médecin régulateur. Il génère le plan de traitement et des soins du patient, en créant une liste des tâches à effectuer. Il détermine également l'équipe médicale nécessaire à chaque tâche de soin.

Enfin, il enregistre toutes ces informations dans le dossier médical du patient et transmet ces données à l'agent ordonnanceur, qui va affecter les tâches et créer le planning de chaque personnel médical présent aux urgences.

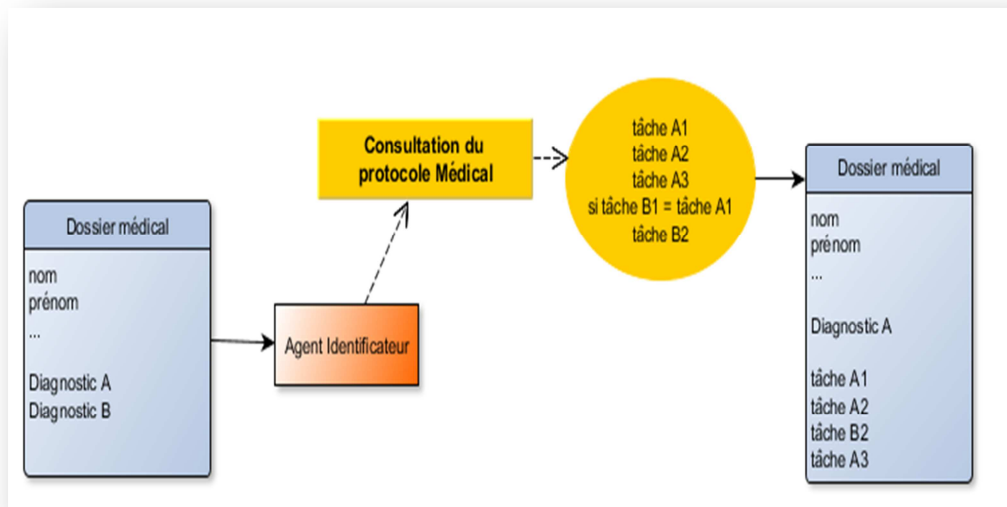
- **Création de la liste des tâches de soin :**

Cette fonction est réalisée par la méthode « *getOperation* » qui prend en compte le dossier médical d'un patient, et renvoie en résultat la liste des opérations associées à chaque diagnostic, après consultation du protocole médical (fig. IV.2.a).



**Figure.IV.2.a** Création de la liste des tâches de soin

Cette méthode élimine également la redondance d'une tâche, celle-ci figure dans plusieurs diagnostics différents (Diagnostic A, Diagnostic B....) et renvoie une liste cohérente (fig. IV.2.b).



**Figure.IV.3.b** Création de la liste des tâches de soin

- **Determination de l'équipe de soin médical**

Pour une tâche donnée, la fonction « **getStaff (tâche)** » renvoie le personnel médical ou l'équipe médicale apte à réaliser cette tâche.

- **Enregistrement des données et envoi du dossier à l'agent ordonnanceur :**

La fonction « **identifyDiagnosis (dossier médical)** », permet d'enregistrer les modifications apportées à un dossier médical, et de créer l'agent ordonnanceur, avec toutes les données nécessaires.

- **Modification du dossier médical d'un patient**

L'agent identificateur permet à un personnel médical de modifier le dossier médical d'un patient, en lui offrant les fonctionnalités suivantes :

- Ajouter un diagnostic, grâce à la méthode « **addedDiagnosis** »
- Supprimer un diagnostic grâce à la méthode « **deletedDiagnosis** »
- Ajouter des opérations grâce à la méthode « **addedOperation** »
- Supprimer des opérations grâce à la méthode « **deletedOperation** »

- **Modifier l'ordre d'une opération**

Modifier la durée d'une opération grâce à la méthode « *UpdateMedicalStaffDurationOfOp* ». Changer le type du personnel médical ou de l'équipe médicale qui doit effectuer une opération :

“*deleteTypeStaff*”

“*addTypeStaff*”

#### **IV.2.2.3 Agent Ordonnanceur**

L'Agent Ordonnanceur (**AO**) a un rôle très important dans notre travail. Il représente la partie qui réalise les plannings du personnel médical, et donc construit la chaîne des tâches de soins réalisées pour chaque patient, en affectant à celui-ci un horaire de début, et en attribuant le bon personnel au bon patient.

L'action de l'ordonnanceur dépend de l'activité dans les urgences. En effet, si le service des urgences n'est pas surchargé, et que le personnel médical n'est pas totalement exploité, l'ordonnanceur s'occupe d'attribuer la tâche de soin, au personnel, qui selon le protocole médical, peut se charger de la réalisation de cette tâche.

- En cas de non suractivité dans les urgences, le planning de ce personnel médical, devrait en principe avoir des plages non occupées dans son planning, et donc l'opération sera insérée dans les créneaux libres, ce processus sera effectuée par **la phase 1** de l'ordonnanceur.
- En cas de suractivité, si une opération doit être faite par un personnel médical, dont le planning est chargé, et l'opération ne peut pas être insérée dans un créneau libre, dans ce cas l'ordonnanceur fera appel à sa **phase 2**, qui met en exécution l'algorithme génétique. Cette phase va revoir tous les plannings de tous les personnels, en respectant les contraintes imposées, et en optimisant l'affectation et la répartition des tâches de soins sur l'échelle temporelle.

| Phase 1<br>Insertion simple dans les créneaux<br>libre de l'emploi du temps d'un<br>personnel                                                                                                                                                                                                      | Phase 2<br>Appel de l'algorithme génétique                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Gère par défaut le planning en temps réel, elle s'occupe d'introduire des tâches dans le planning et procède dans un premier temps aux modifications les plus simples que peut subir ce dernier.</p> <p><u>Si celui-ci donne une solution insatisfaisante, la phase 2 est alors lancée.</u></p> | <p>La phase qui utilise l'algorithme génétique pour réorganiser le planning en modifiant la position d'un ensemble de tâches pour avoir un planning plus satisfaisant.</p> |

**Tableau.IV.2 :** Les phases de l'Agent Ordonnanceur (AO)

#### IV.2.2.4 Agent Suivi

Il intervient principalement lors de la modification de la liste d'opération d'un patient, que ce soit par l'ajout d'une nouvelle tâche ou par la suppression d'une tâche programmée.

Le personnel médical renseigne les modifications à effectuer et l'agent suivi (**AS**) les transmet à l'identificateur. Ce dernier n'est pas appelé lorsque le protocole est suivi « normalement ». Il n'intervient uniquement qu'avec la volonté du personnel médical. Il fait principalement appel aux méthodes *addDiagnosis*, *addMedicalStaff*, *set Diagnosis* définis par les autres agents.

Il ne modifie pas réellement la base de données mais transmet à l'Identificateur les modifications à apporter.

#### IV.2.2.5 Agent Mobile Personnels (AMPs)

Contrairement aux autres agents dits « stationnaires », l'Agent Mobile Personnel (**AMPs**) est doté de mobilité. Le but ici est de simuler le comportement d'un personnel

médical dans le SUP. 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.

#### IV.2.3 Diagramme de buts

Pour construire le diagramme de buts, nous utilisons 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 la prise en charge du patient en minimisant le temps d'attente au SUP et ce, même en cas de perturbation. Cet objectif représente le but ultime, noté but(0). Le but(0) dépend de la réalisation de cinq buts fils :

- Le but (1) : « **Accueillir** » ;
- Le but (2) : « **Enregistrer** » ;
- Le but (3) : « **Identifier et orienter patients** » ;
- Le but (4) : « **Prise en charge** » ;
- Le but (5) : « **Suivi des Patients** ».

En effet, notre diagramme de but suggère que pour commencer, il faut assurer de l'accueil du patient but(1) ainsi que de l'enregistrement but(2) en identifiant l'état et l'orientation du patient but(3). Par la suite, il faut le prendre en charge (but4) et enfin, assurer le suivi du patient but(5).

Le but (3) « **Identification de l'état et l'orientation du patient** » se traduit par deux buts fils : but (3.1) « **Identifier/Etat/Opérations** » et le but (3.2) « **orienter patients** ».

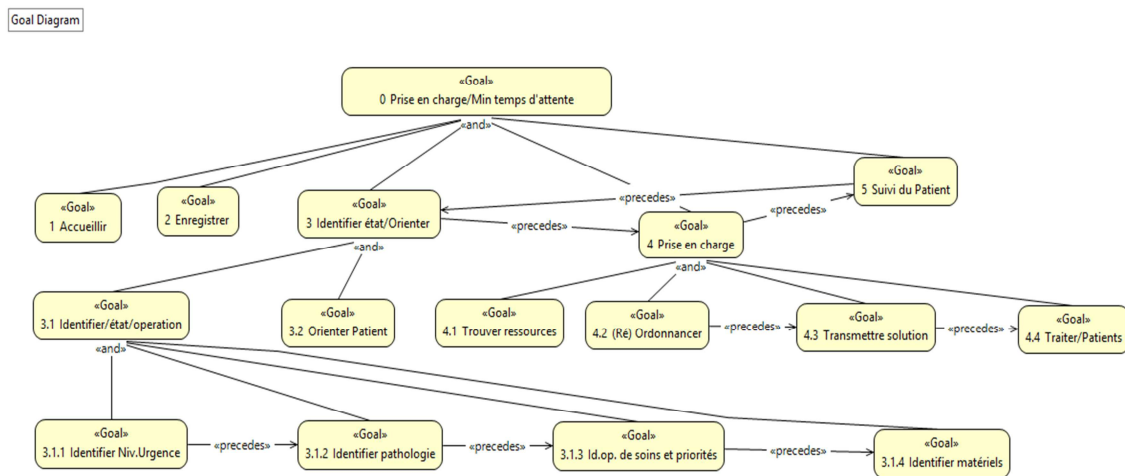
Le but (3.1) se traduit à son tour par quatre sous buts :

- Le but (3.1.1) : « **Identifier le niveau d'urgence** » ;
- Le but (3.1.2) : « **Identifier pathologie** » ;
- Le but (3.1.3) : « **Identifier les opérations de soins et les priorités** » ;
- Le but (3.1.4) : qui assure « **l'orientation du patient** ».

Le but (4), « **Prise en charge des Patients** » consiste à prendre en charge chaque patient. Celle-ci est assurée par quatre buts fils :

- Le but (4.1) : « **Trouver les ressources** » ;
- Le but (4.2) : « **Ordonnancer et réordonnancer** » ;
- Le but (4.3) : « **Transmettre les solutions** » ;
- Le but (4.4) : « **Traiter les Patients** ».

Le diagramme de but ainsi construit est présenté dans la figure ci-dessous.



**Figure.IV.4 : Diagramme de but**

#### IV.2.4 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.

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

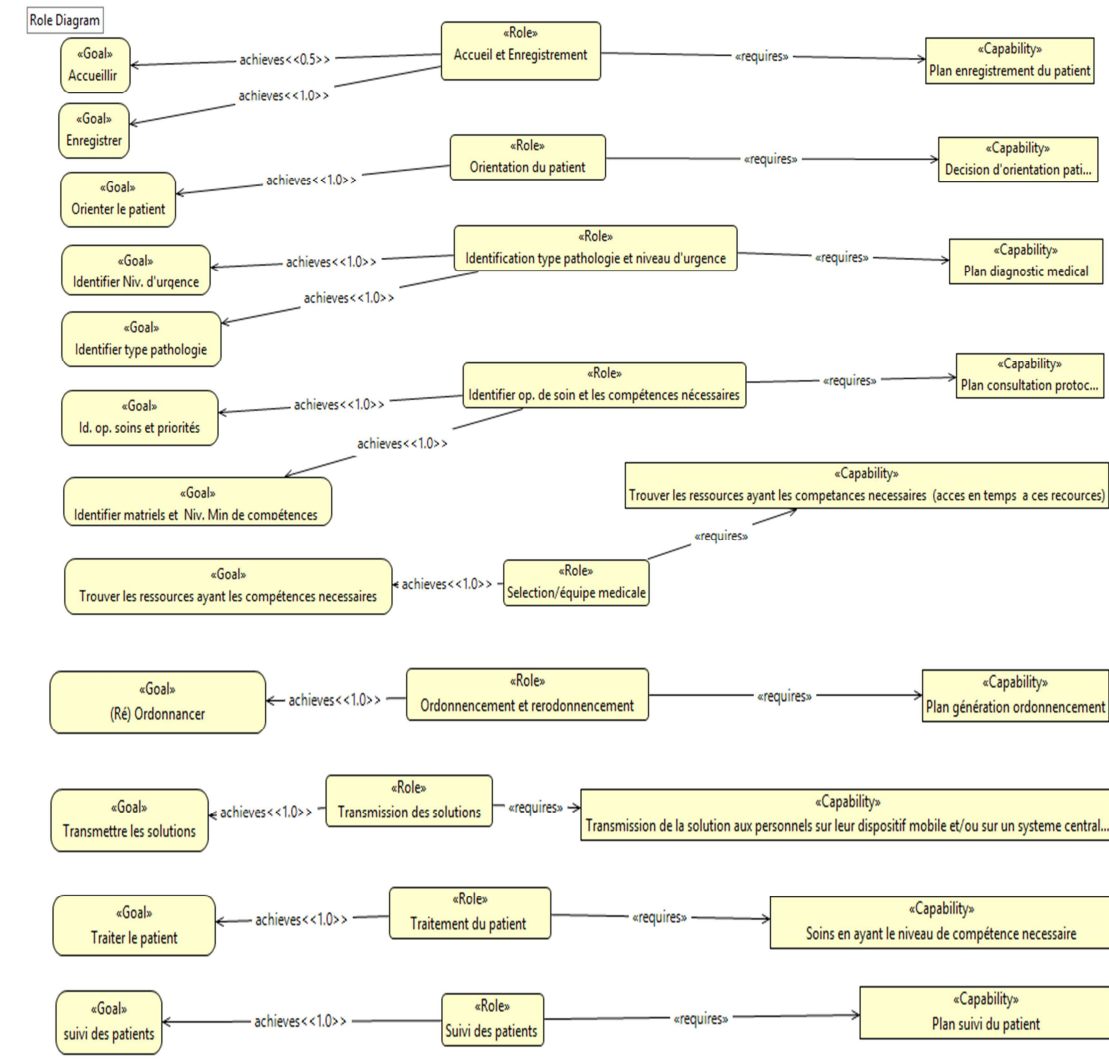


Figure.IV.5 : Diagramme de Rôle

- Pour le **but (1) « Accueillir »** et le **but (2) « Enregistrer le patient »**, nous identifions le rôle « Accueil et enregistrement du patient » grâce au « plan enregistrement patient ».
- Pour le **but (3.2) « orienter le patient »**, nous créons le rôle « Orientation du patient » qui requiert la capacité d'une « décision d'orientation patient ».
- Pour les **but (3.1.1) « identification »** et **but (3.1.2) « Identifier le type de pathologie »**, nous créons le rôle « Identification type pathologie et niveau d'urgence » et il nécessite la capacité « Plan de diagnostic médical ».
- Pour le **but (3.1.3), « Identifier les opérations de soin nécessaires et les priorités »** et le **but (3.1.4) « Identifier le matériel et le niveau minimum de compétences »**,

nous créons le rôle « *Identifier les opérations de soins et les compétences nécessaires* » qui nécessite la capacité «*Plan consultation des protocoles médicaux*».

- Pour le **but (4.1)** «*Trouver les ressources ayant les compétences nécessaires* » nous créons le rôle «*Sélection de l'équipe médicale*» qui requiert la capacité «*Trouver les ressources ayant les compétences nécessaires (accès en temps à ces ressources* ».
- Le **but (4.2)** « *Ordonnancement et ré-ordonnancement*», nous avons créé le rôle «*Ordonnancement et ré-ordonnancement* ». Ce rôle dépend du «*Plan de génération de l'ordonnancement*».
- Le **but (4.3)** «*Transmettre la solution*» est réalisé par le rôle «*Transmission de la solution*» qui nécessite le plan d'exécution «*Transmission de la solution aux personnels sur leur dispositif médical et/ou sur un système centralisé* ».
- Le **but (4.4)** «*Traiter le patient*» est réalisé par le rôle «*Traitement du patient*» qui découle de la capacité «*Soins en ayant le niveau des compétences nécessaires* ».
- Le **but (5)** « *Suivi du patient* » qui requiert le rôle «*Suivi du patient*» et dépend du «*Plan suivi*».

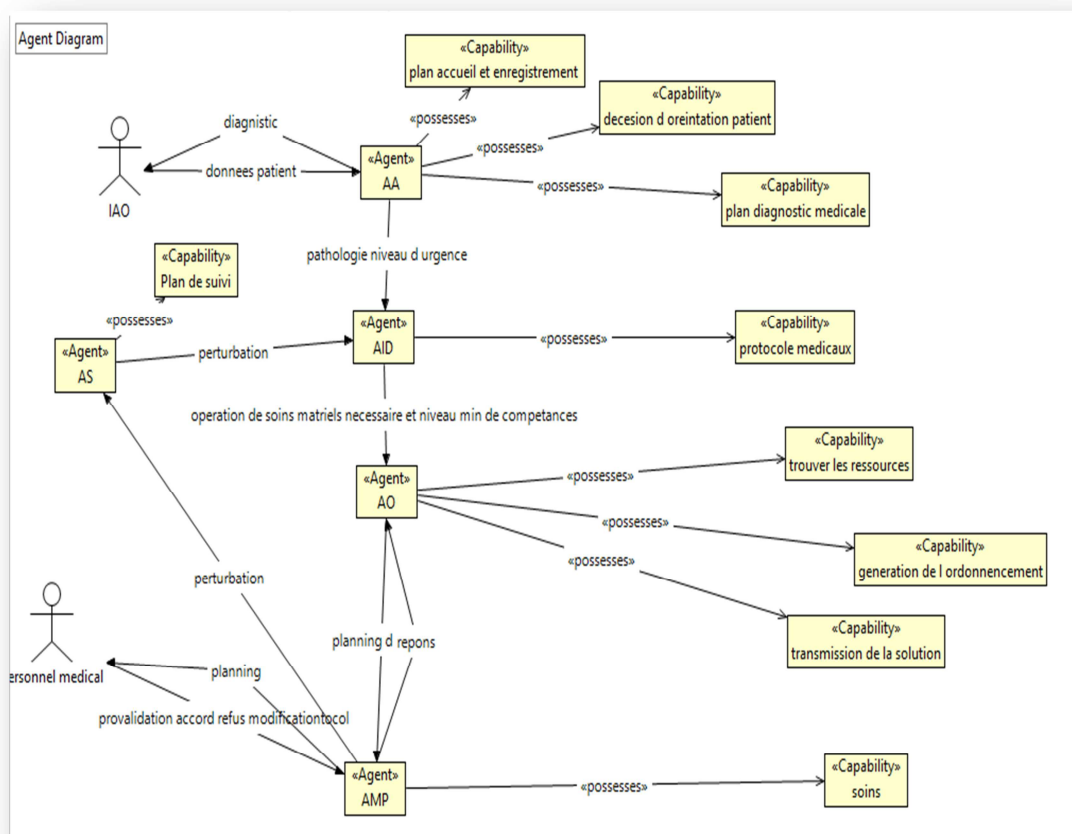
#### IV.2.5 Diagramme d'Agent

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. L'architecture de résolution basée sur l'alliance SMA-Métaheuristique fournit une grande flexibilité de conception. De plus, le fait 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.

Pour l'exécution de notre système, rappelons que nous avons retenu cinq agents, qui doivent fonctionner simultanément. Nous les rappelons brièvement ici (voir section IV.1.2 de ce chapitre) :

- *Agent Accueil (AA) ;*
- *Agent Identificateur (AIdf) ;*
- *Agent Ordonnanceur (AO ;*
- *Agent Suivi (AS) ;*
- *Agent(s) Mobile(s) Personnel (AMPs).*

L'interaction et le comportement des différents agents de l'architecture proposée à l'arrivée du patient sont exprimés par le diagramme de séquence (fig. IV.6)



**Figure.IV.6 : Diagramme d'agent**

### IV.3 Comportements des agents dans l'architecture proposée

Comme nous l'avons souligné, les agents doivent fonctionner en interaction continue. Dans ce qui suit nous donnerons une description du comportement de chaque agent en mettant en évidence ses interactions avec le ou les autres agents.

#### IV.3.1 Comportement de l'Agent d'Accueil (AA)

Dès qu'un patient à recours 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 ci-dessous donne en détails le comportement de l'agent (AA).

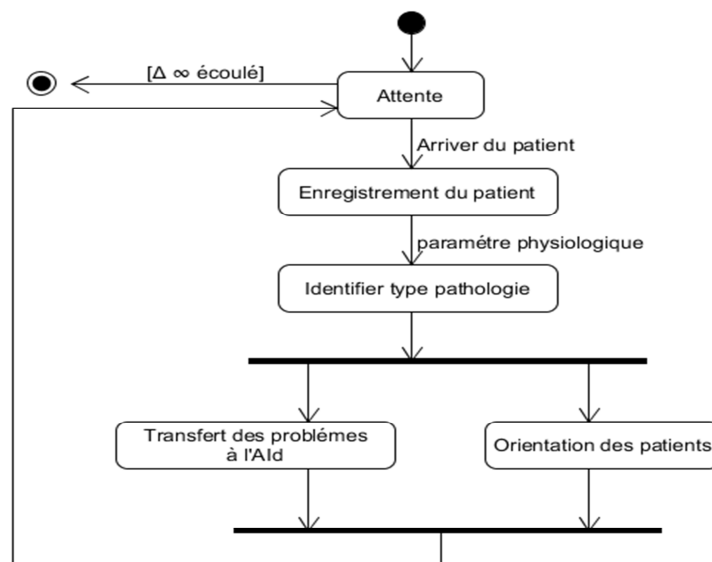


Figure.IV.7 : Description du comportement de l'agent Accueil

### IV.3.2 Comportement de l'Agent Identificateur (AI)

Un agent (**AI**) disponible interagit avec les agents (**AA**) afin de recevoir les problèmes médicaux des patients arrivés au SUP 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 (**AI**) disponible dans le système, un nouvel agent (**AI**) est automatiquement créé. Tout d'abord, l'agent (**AI**) 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 (**AI**) 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. La figure ci-dessous donne une représentation du comportement de l'Agent identificateur (AI).

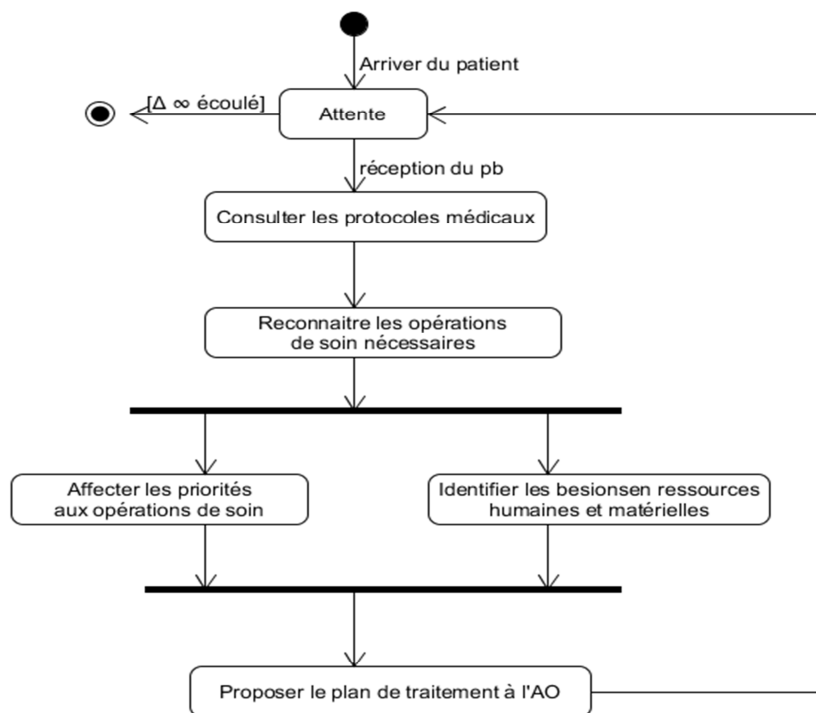


Figure.IV.8 : Description du comportement de l'agent identificateur

### IV.3.3 Comportement de l'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 (Ald) 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 SUP 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. IV.9).

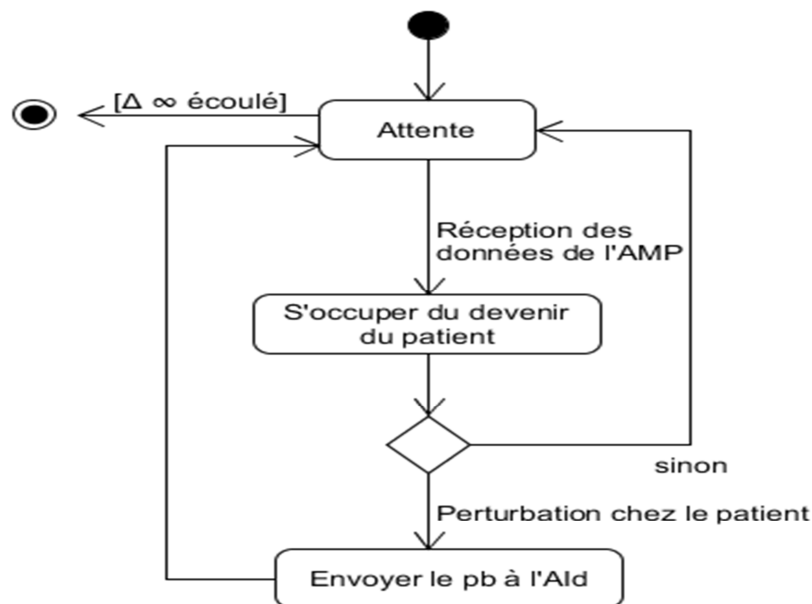


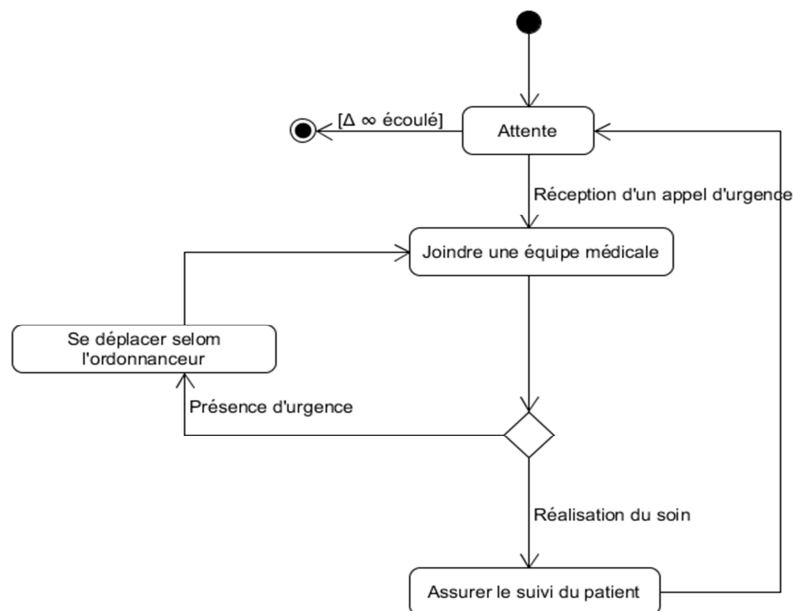
Figure.IV.9 : Description du comportement de l'Agent Suivi

#### IV.3.4 Comportement de l'Agent Mobile Personnels (AMPs)

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 (AMPs) peut également intervenir au niveau de l'accueil pour identifier l'état d'un patient (figure. IV.10).



**Figure.IV.10** : Description du comportement de l'Agent Mobile Personnels (AMPs)

#### IV.4 Comportement de l'Agent Ordonnanceur (AO) : vers une mise en œuvre de l'alliance SMA/Méta heuristique

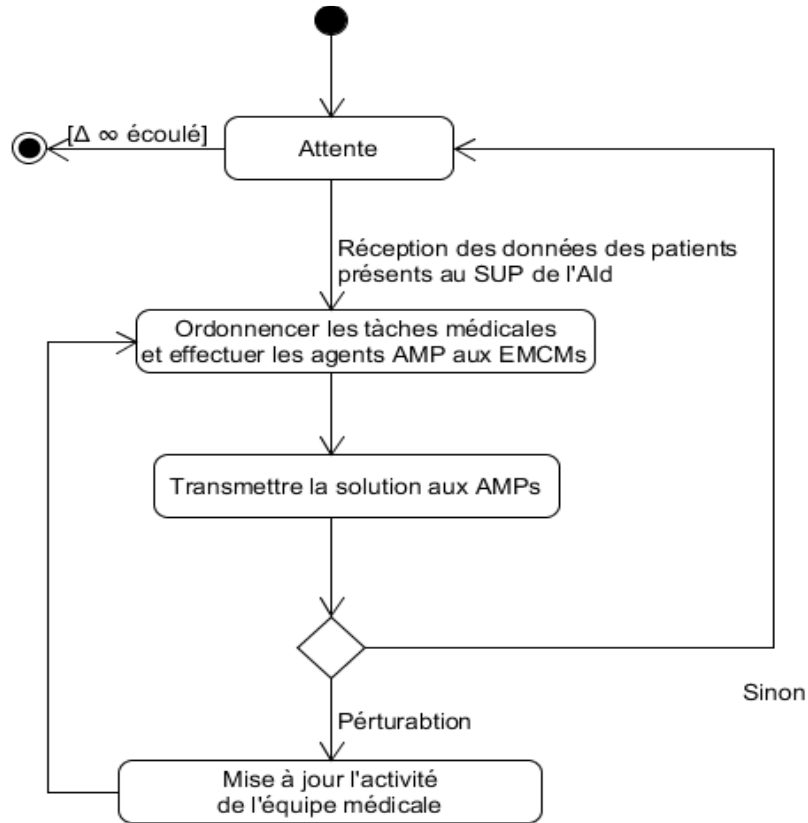
L'agent Ordonnanceur (AO) veillera à l'optimisation de l'affectation des opérations de soin nécessaires au traitement des patients au personnel de l'équipe médicale du SUP.

Le choix des ressources humaines et matérielles doit permettre de minimiser les temps d'attentes des patients.

#### **IV.4.1 Comportement de l'Agent Ordonnanceur (AO)**

Dès sa création, un Agent Ordonnanceur (**AO**) génère dynamiquement l'exécution séquentielle 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 (EMCMs) en calculant un nombre effectif d'agents (**AMPs**) qu'il crée 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.

L'agent (**AO**) génère le plan de traitement en appliquant un algorithme génétique dynamique et réactif 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'(EMCMs) nécessaire pour traiter un patient (problème médical). Une alerte d'urgence qui résulte du besoin d'un agent (**AMPs**) déclenche un processus de mise à jour de l'activité des Equipes Médicales à Compétences Multiples par l'agent (**AO**). Cette situation peut nécessiter l'interruption d'une opération de soin en cours de réalisation au profit d'une autre opération plus urgente 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 SUP, l'(**AO**) organisera une réunion entre eux afin de rendre la décision plus conforme (figure. IV.11).



**Figure.IV.11** : Description du comportement de l'Agent Ordonnanceur (AO)

Maintenant que nous avons vu le comportement de chaque agent de notre système, nous allons se focaliser dans ce qui suit sur le comportement de l'(AO) et la mise en œuvre de l'Algorithme génétique.

#### IV.4.2 Formulation mathématique du problème d'ordonnancement dans le SUP

Nous définissons les différentes variables, contraintes et critères d'optimisation qui sont utilisés par l'agent ordonnanceur

- $N$  : nombre de patients à traiter à l'instant  $t$
- $j$  : indice du patient,  $j \in \{1, \dots, N\}$
- $n_j$  : nombre d'opérations de soin nécessaire pour le traitement du patient  $j$
- $i$  : indice d'une opération de soin,  $i \in \{1, \dots, n_j\}$
- $O_{ij}$  :  $i^{\text{ème}}$  opération de soin du patient  $j$

- $M$  : nombre du personnel médical présents au SUP à l'instant  $t$
- $m$  : indice du personnel médical du SUP,  $m \in \{1, \dots, M\}$
- $K$ : cardinalité de l'ensemble des compétences en médecine d'urgence pédiatrique
- $k$  : indice d'une compétence médicale,  $k \in \{1, \dots, K\}$
- $\theta_k$  : degré de connaissance pour une compétence  $C_k$ ,  $\theta_k \in [0 ; 1]$
- $rp_j$  : date d'arrivée du patient  $j$  au SUP
- $t_{i,j}$  : date de début d'exécution de l'opération de soins  $O_{i,j}$
- $tf_{i,j}$  : date de fin d'exécution de l'opération de soins  $O_{i,j}$
- $d_{i,j,k}$  : durée de l'opération de soins  $O_{i,j}$  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. IV.11),  $k \in \{1, \dots, K\}$ , chaque compétence maîtrisée par chaque acteur  $P_m$ ,  $m \in \{1, \dots, M\}$ , de l'équipe médicale du SUP, 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  $\theta_k$  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.IV.3 : 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 lesquelles il peut intervenir en appui d'acteurs plus qualifiés ou bien en les remplaçant. L'exemple ci-dessous 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 <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>4</sub> |
| C <sub>1</sub> | 1              | 0,4            | 0,4            | 0              |
| C <sub>2</sub> | 0,9            | 1              | 1              | 0,6            |
| C <sub>3</sub> | 0,7            | 1              | 1              | 1              |

**Tableau.IV.4 :** 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 <sub>1,1</sub> (12)                    | O <sub>2,1</sub> (14) | O <sub>1,2</sub> (5) | O <sub>2,2</sub> (7) | O <sub>3,2</sub> (9) | O <sub>1,3</sub> (10) | O <sub>2,3</sub> (11) |
| C <sub>1</sub> | 2                                        | 0                     | 2                    | 2                    | 0                    | 2                     | 0                     |
| C <sub>2</sub> | 2                                        | 2                     | 2                    | 2                    | 1                    | 2                     | 2                     |
| C <sub>3</sub> | 0                                        | 2                     | 0                    | 2                    | 1                    | 0                     | 2                     |

**Tableau.IV.5 :** 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. IV.5 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.

#### IV.4.2.1 Les variables de décision

L'objectif de l'agent ordonnanceur est d'affecter les AMPs (Agent Mobile Humain) aux différentes opérations de soin nécessaires pour assurer une prise en charge rapide et de qualité. On vise alors à minimiser les durées d'attente des patients ainsi que les coûts de leur prise en charge. En plus, l'agent ordonnanceur permet de ressortir le GANTT pour chaque acteur médical (durée, date de début et de fin de traitement de soin...etc.). Suite à plusieurs visites au SUP de CHRU de Lille, nous avons distingué quatre 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  $P_m$  maîtrisant la compétence  $C_k$  avec un degré minimal égal à  $\theta_k$  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  $\theta_k$  si la personne  $P_m$  maîtrise  $C_k$  avec un degré de connaissance supérieur ou égal à  $\theta_k$ ,  $\theta_k \in [0 ; 1]$ .
- 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 SUP 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.

#### IV.4.2.2 La fonction objective

On vise à minimiser le Temps d'Attente Global Moyen (TAG) des patients au SUP :

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

$Ar_{i,j}$ : 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 d'attente global (TAG) que passe le patient dans le SUP qui correspond au délai s'écoulant entre son inscription à l'accueil et sa première prise en charge additionné à l'attente des résultats des examens biologiques ou radiologiques et aux temps d'attentes intermédiaires entre plusieurs prise en charge. Le

plan de traitement d'un patient peut être prescrit dans l'ordre comme indiqué ci-dessous :

$$t_{0,j} + d_{0,j,k} < t_{1,j} + d_{1,j,k} < t_{2,j} + d_{2,j,k} < \dots < t_{n_j,j} + d_{n_j,j,k}$$

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 conséquent, 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  $\theta_k$ . 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 TAG.

#### IV.4.2.3 Les contraintes d'ordonnancement au sein du SUP

Les contraintes du problème d'ordonnancement au sein du SUP 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.

$$t_{i,j} + d_{i,j,k} < t_{i',j} \quad \forall i, i' \in \{1..n_j\}, \forall j \in \{1..N\} \text{ et } i \text{ précède } i' \text{ et requiert la compétence } k \quad (1)$$

- 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  $dl_{i,j}$ .

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

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

- La contrainte de compétences 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 (3) ci-dessous de compétence va permettre les affectations des compétences dont leurs degrés de connaissance sont supérieurs ou égaux à un degré minimale définie par un expert du domaine.

$$X_{m,k,i,j} = 1 \text{ si } C_{m,k} \geq \theta_k \quad \forall \theta_k \in [0; 1] \quad (3)$$

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

- La contrainte quantitative (4) assure que pour chaque personnel médical  $m$  du SUP traite au plus un seul patient à l'instant  $t$ .

$$\sum_j \sum_i^{n_j} X_{m,k,i,j} \leq 1 \quad (4)$$

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

- Les contraintes (5) et (6) sont des contraintes d'intégrité.

$$X_{m,k,i,j} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \{1..n_j\} \quad \forall j \in \{1..N\} \quad \forall m \in \{1..M\} \quad \forall k \in \{1..K\} \quad (5)$$

$$C_{m,k} \in \{0,1\} \quad \forall m \in \{1..M\} \quad \forall k \in \{1..K\} \quad (6)$$

Les algorithmes génétiques qui sont implémentés dans le cœur de l'agent ordonnanceur (AO) utiliseront la formulation de ces variables, contraintes et critères afin que les solutions générées soient viables.

#### **IV.4.3 Mise en œuvre de l'Algorithme génétique (AG) dans le cœur de l'agent ordonnanceur**

Comme nous l'avons souligné lors du deuxième chapitre, l'AG a pour but de fournir à l'(AO) une solution approchée au problème d'optimisation dans la mesure où il ne dispose pas de méthode exacte pour le résoudre en un temps raisonnable. Là où les solutions potentielles que va fournir l'AG nécessite impérativement l'implication des différents agents de notre système. Nous verrons dans ce qui suit le fonctionnement de chaque agent avec l'AG.

##### **IV.4.3.1 Les différentes phases de l'agent ordonnanceur**

###### ***a) Ordonnanceur : Phase 1***

La phase (1) agit en regardant si une tâche peut être insérée dans le planning sans pour autant empiéter sur ses tâches voisines. Pour cela, elle recherche d'abord dans la liste du personnel médical présent les personnes qui ont la compétence à réaliser l'opération que l'on souhaite insérer. Puis, elle constitue un ensemble d'équipe possible qui peut effectuer l'opération. Cet ensemble doit être varié afin d'être sûr de pouvoir offrir un spectre de possibilité suffisant pour apporter une solution idéale.

Ensuite, la phase 1 détermine pour chaque équipe la date minimale à partir de laquelle l'opération peut être réalisée sans pour autant empiéter sur une autre tâche que l'un des membres de l'équipe doit effectuer. Elle sélectionne alors comme proposition provisoire le minimum des dates calculées.

Enfin elle se charge de voir si la date sélectionnée permet à la tâche qu'on insère de ne pas chevaucher une des tâches qui doit être faite sur le même patient, qui est déjà planifiée et qui ne peut pas être faite parallèlement à la tâche que l'on souhaite insérer. Si un tel chevauchement se produit, la phase (1) relance la recherche d'une solution à partir de la fin de la dernière tâche programmée, qui ne peut pas se réaliser en même temps que la tâche qu'on insère.

On peut remarquer que cette étape n'est lancée qu'à la condition d'avoir un chevauchement impossible, en effet pour un certain nombre de tâches, l'ordre de réalisation n'importe pas dans le processus de prise en charge du patient et la mise en parallèle avec d'autres soins est possible. On évite donc de lancer de manière systématique une méthode dont la nécessité n'est qu'occasionnelle.

La date qui est alors sélectionnée devient la date de début de la tâche. On en déduit la date finale avec la durée théorique du processus. La phase (1) se conclut alors en remplissant le planning des membres de l'équipe sélectionnée et en inscrivant l'équipe médicale comme staff alloué à l'opération.

Toutefois, si la date de début sélectionnée est éloignée de plus de trois heures de la dernière prise en charge du patient, l'ordonnanceur lance la phase (2). Une telle attente est nécessaire car, par exemple, l'étude des prélèvements biologiques prend souvent plus de deux heures pour être réalisée.

Après avoir attribué une tâche à un personnel médical, pour des questions d'adaptation au rythme du personnel médical, la phase (1) impose une période de repos de 20 minutes si, à la fin de la tâche, la dernière pause remonte à plus de 2 heures.

#### ***b) Ordonnanceur : Phase 2***

Si la phase (1) échoue dans le processus d'insertion d'une tâche de soin, la phase (2) sera déclenchée, et l'algorithme génétique (AG) commence son processus d'exécution.

- **Algorithme « Ordonnancement Dynamique Patient »**

```

Etape 0 :  $t=0$  ; Créer une population initial de N individu.
Etape 1 : Evaluation
            Calculer la fonction fitness de chaque individu de  $P_0$ .
Etape 2 :
             $(I1, I2) \leftarrow$  Sélection aléatoire de deux individus de  $P(t)$ .
Etape 3 : Avec la probabilité  $p_c$  appliquer le croisement.
            -  $I3 \leftarrow A2CP(I1, I2)$  // Algorithme –Croisement-Cubique-Patient
            -  $P(t+1) \leftarrow I3$ 
            - Avec la probabilité  $(1 - p_c)$  recopier les autres individus dans  $P(t+1)$ .
Etape 4 : Pour chaque individu du  $P(t+1)$ 
            - Avec la probabilité  $p_m$  appliquer la mutation à l'individu et le recopier dans  $P(t+1)$ .
            - Avec la probabilité  $1 - p_m$  recopier l'individu dans  $P(t+1)$ .
Etape 5 : Incrémenter  $t$  et reprendre à l'étape 1. Jusqu'à un nombre maximum de génération.
    
```

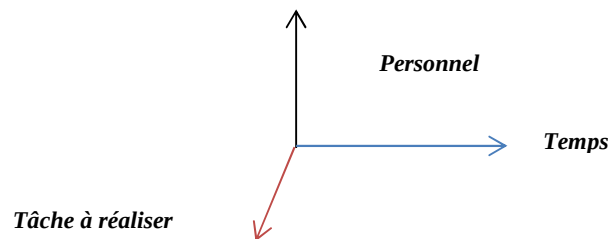
Dans son exécution l'algorithme génétique passe par différentes phases, et requiert la mise en place d'un chromosome, qui peut générer le planning de tout le personnel.

Nous allons développer, dans ce qui suit, toutes les étapes de l'AG :

#### - Définition du chromosome

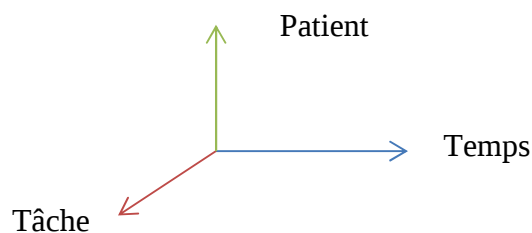
Dans notre cas, nous avons beaucoup d'informations à traiter et beaucoup de contraintes à respecter. Celles-ci portent aussi bien sur le personnel médical, sur les tâches à réaliser, sur les patients que sur le temps. Au vu du nombre important des contraintes, nous avons choisi un chromosome facilement exploitable.

Notre chromosome choisi est un « Cube » en **trois dimensions** dont les axes sont : « **Personnel médical** », « **Tâche à réaliser** », « **Temps** » (le temps étant découpé par intervalles de tailles choisies) et dont chaque case est remplie par un **booléen** (vrai si, à cet instant donné, le personnel médical réalise la tâche concernée ; faux sinon).



**Figure.IV.12** : Cube Tâche à réaliser/Personnel/Temps

De plus, nos tâches à réaliser étant pondérées d'indicies par le patient concerné, on a une équivalence avec un deuxième chromosome du même type que le premier mais d'axes : « Patient », « Tache à réaliser », « Temps ». Cette équivalence sera là aussi très importante pour vérifier des contraintes portant sur un patient.



**Figure.IV.13** : Cube Tâche/Patient/Temps

### Exemple :

Illustrons ce choix de chromosome avec 2 patients (P1 et P2) ayant 1 ou 2 tâches à réaliser et avec 2 membres de l'équipe médicale (M1 et M2).

Pour des soucis de compréhension, on représentera le chromosome comme un ensemble de plan « Taches à réaliser », « Temps » (division en intervalle de 5 minutes).

- **Du point de vue personnel médical :**

Pour le médecin M1 :

|               | 0-5 min | 5-10 min | 10-15 min | 15-20 min |
|---------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Tache (P1, 1) |         | 1        | 1         |           |
| Tache (P1, 2) |         |          |           |           |
| Tache (P2, 1) | 1       |          |           |           |

Pour le médecin M2 :

|               | 0-5 min | 5-10 min | 10-15 min | 15-20 min |
|---------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Tache (P1, 1) |         |          |           |           |
| Tache (P1, 2) |         | 1        | 1         | 1         |
| Tache (P2, 1) | 1       |          |           |           |

Dans cet exemple, M1 s'occupe de P2 pendant 5 minutes puis de P1 pendant 10 minutes.

M2, s'occupe de P2 pendant 5 minutes (avec M1) puis de P1 pendant 15 minutes.

- **Du point de vue patient on trouve alors :**

Pour P1 :

|               | 0-5 min | 5-10 min | 10-15 min | 15-20 min |
|---------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Tache (P1, 1) |         | 1        | 1         |           |
| Tache (P1, 2) |         | 1        | 1         | 1         |
| Tache (P2, 1) |         |          |           |           |

On remarque que P1 fait deux tâches en parallèle avec des médecins différents.

Pour P2 :

|               | 0-5 min | 5-10 min | 10-15 min | 15-20 min |
|---------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Tache (P1, 1) |         |          |           |           |
| Tache (P1, 2) |         |          |           |           |
| Tache (P2, 1) | 1       |          |           |           |

### La population de chromosome de départ :

Une population est constituée d'un certain nombre de chromosomes. Ces chromosomes doivent représenter une solution viable, qui, à ce stade, n'est pas encore optimale.

Le but de l'algorithme génétique est justement de partir d'une population initiale, non optimale, pour arriver à une population finale, qui comprend les chromosomes représentant la solution finale et optimisée.

La première étape de l'algorithme génétique consiste à former la population initiale, qui sera le point de départ de l'exécution de l'algorithme. Deux méthodes ont été mises en place pour construire cette population :

- La première consiste à récupérer les solutions générées par la phase (1) de l'ordonnanceur
- La deuxième, consiste à générer des solutions aléatoires, mais qui soient viables, c'est-à-dire qui respectent toutes les contraintes.

### Le croisement

L'opérateur de croisement, croise ensuite corrige.

**a- Croisement** : dans le but d'avancer ou reculer l'heure de début des opérations pour un même personnel. Il ne change pas l'affectation des opérations (quel personnel fait quelle opération).

Données d'entrée : Un Chromosome (A), un chromosome (B), un Masque de croisement

Exemple, soit le personnel d'indice i dans le tableau dont le planning est le suivant :

Il doit réaliser :

*L'opération Op1, de durée 4*

*L'opération Op2, de durée 3*

*L'opération Op3, de durée 3*

*L'opération Op4, de durée 3*

L'algorithme de croisement est le suivant :

- Algorithme –Croisement-Cubique –Patient (A2CP)**

```

Entrées :
I1 [] [] : Chromosome 1 d'un patient
I2 [] [] : Chromosome 2 d'un patient
Entier i, j, t, N // avec i : patient, j : nombre de tâche à réaliser, t : temps,
N : masque.lenght
Cr [] [] : tableau résultat du croisement
Masque []
Sortie : Création d'un individu « nouveau-né »
Début
    Pour (j=0 ; j<N ; j++)
        Si ( !masque [j]) alors
            Pour (i=0 ; I1 [j].lenght ; t++)
                Pour (t=0 ; t<I1[t].lenght ; t++)
                    New chromosome [j][i][t] = I1 [j][i][t]
            Si non
                Pour (i=0 ; I1 [j].lenght ; t++)
                    Pour (t=0 ; t<I1[t].lenght ; t++)
                        New chromosome [j][i][t] = I2 [j][i][t]
Fin
    
```

**Figure.IV.14** : Algorithme Croisement-Cubique –Patient (A2CP)

**Chromosome A :**

|     | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | 80-85 | 85-90 | 90-95 |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Op1 | 0   | 0    | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op2 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op3 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op4 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |

**Chromosome B :**

|     | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | 80-85 | 85-90 | 90-95 |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Op1 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op2 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |
| Op3 | 1   | 1    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op4 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |

**Exemple :** si le masque est 0110, alors le chromosome résultat du croisement serait :

Chromosome croisement

|     | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | 80-85 | 85-90 | 90-95 |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Op1 | 0   | 0    | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op2 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |
| Op3 | 1   | 1    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op4 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |

**Correction :**

Pour chaque opération dans la liste des opérations programmées (Dans l'exemple : Op1, Op2, Op3, Op4) :

- Vérifier si toutes les opérations sont présentes : Si c'est le cas, sinon ajouter les opérations manquantes dans les intervalles non programmés (cases à 0) ;
- Vérifier si une même opération n'apparaît pas plusieurs fois dans le planning d'un personnel médical. Si une opération apparaît plusieurs fois dans le planning d'un personnel, alors plusieurs chromosomes fils seront créés, à partir du chromosome père, et en enlevant les redondances qui y sont.

**Exemple :**

- Le croisement a donné, en résultat le chromosome suivant :

|     | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | 80-85 | 85-90 | 90-95 |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Op1 | 0   | 0    | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op2 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |
| Op3 | 1   | 1    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op4 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |

On voit que dans ce chromosome, né d'un croisement, l'opération Op2, est répétée 2 fois pour le personnel i, ainsi des chromosomes fils, au nombre des répétitions (ici 2) seront créés. Ces chromosomes apportent une correction au chromosome père. Voici donc les 2 chromosomes, qui sont nées à partir de cette redondance :

- **Chromosome croisement\_Bis\_1 :**

|     | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | 80-85 | 85-90 | 90-95 |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Op1 | 0   | 0    | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op2 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op3 | 1   | 1    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op4 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |

- **Chromosome croisement\_Bis\_2**

|     | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 | 60-65 | 65-70 | 70-75 | 75-80 | 80-85 | 85-90 | 90-95 |
|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Op1 | 0   | 0    | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op2 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |
| Op3 | 1   | 1    | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Op4 | 0   | 0    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     |

Nous rappelons qu'une opération réelle définie par un code qui permet de l'identifier de façon unique. Si une opération théorique est amenée à être répétée de façon régulière (exemple : prise de tension d'un patient toutes les 60 min), elle peut être représentée par plusieurs opérations réelles, qui ont chacune des codes différents qui les définissent.

**Remarque :** Comme vous pouvez le voir, l'opération de croisement peut bouleverser l'ordre des opérations. Ceci peut avoir de lourdes conséquences parfois, quand une opération doit obligatoirement se faire avant ou après une autre. C'est pourquoi nous avons mis en place un processus de correction, qui nous obligera à respecter la contrainte d'ordre.

### La Mutation

La mutation est une opération en partie aléatoire qui permet de modifier un peu nos solutions pour tenter de se déplacer vers un optimum (et peut être sortir d'un optimum local). Dans notre cas, elle va chercher à modifier les booléens présents dans notre chromosome. Tous les chromosomes ne sont pas mutés. Il existe une probabilité de mutation qui les sélectionne.

Si le chromosome est sélectionné, on va alors parcourir (selon les axes « Personnel médical », « Tâche à réaliser », « Temps ») ses cases et changer leurs valeurs en suivant des règles simples.

On mute de façon aléatoire les cases. Il existe une probabilité de mutation pour chaque case :

- Si la case choisie doit être mutée de Vrai vers Faux : il n'existe pas de conditions supplémentaires. (On retire seulement une tâche à réaliser, à un moment donné pour un personnel médical)
- Si la case choisie doit être mutée de Faux vers Vrai, on vérifie que la tâche à réaliser l'est pour ce type de personnel médical (médecin, infirmière...). Si la condition est vérifiée, on mute la case.

|                    | 0-5 min | 5-10 min | 10-15 min | 15-20 min |
|--------------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Tâche 1 (durée 10) |         | 1        | 1         |           |
| Tâche 2 (durée 3)  |         |          |           |           |
| Tâche 3 (durée 5)  | 1       |          |           |           |



**Mutation : changements en rouge**

|                    | 0-5 min | 5-10 min | 10-15 min | 15-20 min |
|--------------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Tâche 1 (durée 10) |         | 0        | 1         |           |
| Tâche 2 (durée 3)  | 1       |          |           |           |
| Tâche 3 (durée 5)  | 1       |          | 1         |           |

Cette première phase de la mutation peut donc enlever des tâches à un personnel ou bien en rajouter si celui-ci est compétent. Cependant, les durées des tâches peuvent ne plus être les bonnes ou elles peuvent être divisées en plusieurs sous-tâches.

On va donc faire des corrections pour modifier les durées des tâches. On parcourt, pour un personnel médical et une tâche donnée, le chromosome (selon l'axe du temps). Lorsqu'on rencontre le premier Vrai, on s'assure alors que la tâche s'étale sur la bonne durée ensuite.

|                    | 0-5 min | 5-10 min | 10-15 min | 15-20 min |
|--------------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Tâche 1 (durée 10) |         | 0        | 1         |           |
| Tâche 2 (durée 3)  | 1       |          |           |           |
| Tâche 3 (durée 5)  | 1       |          | 1         |           |



|                    | 0-5 min | 5-10 min | 10-15 min | 15-20 min |
|--------------------|---------|----------|-----------|-----------|
| Tâche 1 (durée 10) |         | 0        | 1         | 1         |
| Tâche 2 (durée 3)  | 1       | 1        | 1         |           |
| Tâche 3 (durée 5)  | 1       |          | 0         |           |

Dans cet exemple, on voit que la mutation a déplacé la première tâche et on a ajouté une nouvelle (Tâche 2). Cependant après la mutation, toutes les contraintes ne sont pas vérifiées (entre 10 et 15 minutes notre médecin effectue deux tâches).

Notre mutation déplace donc les opérations en vérifiant l'adéquation entre le poste occupé et la tâche à réaliser.

- **Algorithme –Mutation-Cubique-Patient (AMCP)**

|                                                  |                                                    |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Entrées :                                        |                                                    |
| Booléen I3 [] [] : chromosome à muter            |                                                    |
| Sortie : Génération d'un nouvel individu I muté. |                                                    |
| Début                                            |                                                    |
|                                                  | Générer deux indices (p,q) d'une manière aléatoire |
|                                                  | Permuter (I3 [p] [], I3 [q] [])                    |
| Fin                                              |                                                    |

## - Vérification et Correction des contraintes

Afin de respecter la viabilité des solutions finales proposées, et résultantes de l'application de l'algorithme génétique, nous avons fixé un nombre de contraintes à respecter, qui vont nous guider dans la recherche de la solution optimale. Pour chaque contrainte, nous avons mis en place deux méthodes ; une méthode indicatrice, qui renvoie vrai/faux, et qui nous renseigne donc sur le respect ou non de la contrainte, et une méthode qui servira à corriger l'erreur en cas d'un retour « faux » de la méthode indicatrice.

Dans ce tableau ci-dessous nous présentons la liste des contraintes. Pour chaque contrainte, les deux méthodes ainsi que leurs fonctions sont développées.

| <b>Méthodes relatives aux contraintes</b>                                                             | <b>Fonctions</b>                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Vérification de la présence de toutes les opérations</b>                                           | Vérifie que toutes les opérations figurent bien dans le planning, et qu'elles figurent une seule fois.                                                                                                     |
| <b>Correction de la présence de toutes les opérations</b>                                             | Ajoute une opération qui est prévue mais qui a été oubliée dans le planning. Supprime les doublons d'opérations.                                                                                           |
| <b>Vérification de l'affectation d'une tâche de soin à un personnel</b>                               | Vérifie que le staff médical assigné à une opération, est bien capable de la faire.                                                                                                                        |
| <b>Correction de l'affectation des tâches de soin au personnel médical</b>                            | Change l'affectation d'une tâche de soin à un personnel, si cette affectation est erronée.                                                                                                                 |
| <b>Vérification de la contrainte de la durée</b>                                                      | Vérifie que la durée des opérations est respectée.                                                                                                                                                         |
| <b>Correction de la durée</b>                                                                         | Si la contrainte précédente retourne, faux, alors cette correction sera mise en place, pour corriger la durée de l'opération.                                                                              |
| <b>Vérification de la compatibilité des opérations, effectuées simultanément, sur un même patient</b> | Un patient peut avoir plusieurs opérations en même temps. Mais ces opérations doivent appartenir à une même catégorie. Si ce n'est pas le cas, cette méthode retourne faux.                                |
| <b>Correction de la compatibilité des opérations, effectuées simultanément, sur un même patient</b>   | Si un patient fait deux opérations en même temps, mais ces opérations ne sont pas de même catégorie, cette méthode corrigera l'erreur, en faisant un décalage.                                             |
| <b>Vérification de l'unicité d'une tâche à un instant t, pour un personnel médical.</b>               | Vérifie qu'un personnel médical fait bien une tâche à la fois.                                                                                                                                             |
| <b>Correction de l'unicité d'une tâche à un instant t, pour un personnel médical</b>                  | Si la méthode précédente retourne faux, alors cette méthode corrige l'erreur, et vérifie qu'un personnel médical ne fait pas deux tâches de soins différentes en même temps.                               |
| <b>Vérification de nombre constituant l'équipe médicale affectée à une tâche</b>                      | Une opération peut nécessiter l'intervention d'une équipe médicale formée de plusieurs membres. Cette méthode intervient dans la vérification de l'affectation du bon nombre de personnel sur l'opération. |
| <b>Correction du nombre constituant l'équipe médicale affectée à une tâche</b>                        | Si la méthode précédente renvoi faux, cette méthode vient apporter les modifications nécessaires.                                                                                                          |
| <b>Vérification de l'ordre des opérations</b>                                                         | Une succession de tâches de soin, doit respecter un ordre précis, cette méthode vérifie, le bon enchainement des tâches de soin                                                                            |
| <b>Correction de l'ordre des opérations</b>                                                           | Cette méthode est mise en place pour corriger l'ordre des opérations, si celui-ci est erroné                                                                                                               |

**Tableau.IV.6 : Listes des contraintes**

### **La sélection**

Après le croisement, notre population augmente. En effet, nous ajoutons à nos chromosomes parents leurs chromosomes fils. Il faut alors sélectionner les

chromosomes qui feront partis de la nouvelle population avant de faire une nouvelle itération de l'ordonnanceur.

Nous allons d'abord évaluer notre ensemble de solution. Pour chaque solution, nous allons calculer sa force (*fitness*) et la normaliser (la mettre sous forme d'un pourcentage de la force totale).

Ne sélectionner que les solutions les plus fortes ne nous assurerait pas une assez grande diversité dans nos solutions, et sélectionner aléatoirement nous priverait peut-être de bonnes solutions. Nous avons donc choisi de sélectionner un pourcentage des meilleures solutions, puis de choisir celles qui restent à la roulette (leur probabilité de sélection correspond à leur force normalisée). Ainsi nous assurons une sélection forte et variée.

**Exemple :**

|            |     |                                       |                 |     |
|------------|-----|---------------------------------------|-----------------|-----|
| Solution 1 | 30% | } Sélection des plus fortes solutions | Roulette avec : |     |
| Solution 2 | 20% |                                       | Solution 4      | 37% |
| Solution 3 | 15% |                                       | Solution 5      | 34% |
| Solution 4 | 37% |                                       | Solution 6      | 29% |
| Solution 5 | 34% |                                       |                 |     |
| Solution 6 | 29% |                                       |                 |     |

Les 2 phases de l'AO ne permettent pas de trouver la solution optimale globale mais une bonne solution approchée pour ordonnancer les tâches de soins des patients qui nécessitent des compétences multiples pour leurs réalisations au sein du SUP. L'exploitation de cet ordonnancement en temps réels dans le SUP nécessite une approche d'orchestration dynamique du modèle workflow par l'AO afin de réduire le TAG en cours d'exécution.

## IV.5 Orchestration du Workflow par les agents

Les tensions dans les services d'urgences sont des générateurs des temps d'attente considérablement longs, et tous les indicateurs prouvent que la réduction de ces tensions est toujours non maîtrisable. Nous avons déjà montré dans le chapitre 3 la modélisation par l'outil workflow du parcours patient au sein de SUP. Dans cette partie, nous étudions quelques approches d'orchestration dynamique du workflow par l'agent

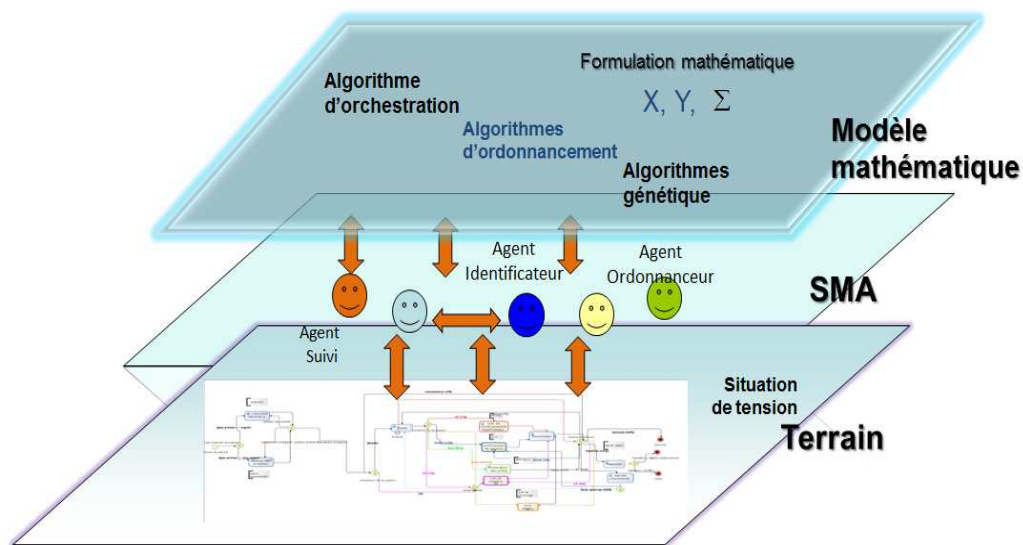
ordonnanceur afin d'optimiser les workflows en cours d'exécution dans chaque service dans le but de réduire les temps d'attente des patients.

Pour réaliser cette orchestration dynamique, nous modélisons chaque service de soins de santé au sein de SUP comme étant des nœuds de files d'attente, de sorte que ces Workflows peuvent être optimisés en temps réel. En conséquence des résultats expérimentaux indiqueront des réductions des temps d'attente moyen par la ré/orchestration dynamique du workflow.

#### **IV.5.1 Architecture d'orchestration dynamique**

Les services d'urgences pédiatriques ont longtemps été l'installation principale pour les soins des maladies aiguës qui nécessitent une intervention (consultation, opération chirurgicale, suture...) immédiate. Toutefois des rapports récents montrent que les longs délais d'attente peuvent nuire à la santé des patients. Guttman et al. (2011) ont estimé à 150 le nombre de patients dont la mort pourrait être évitée chaque année si le temps moyen d'attente aux urgences avant la prise en charge était de moins d'une heure. L'idée est donc de réduire les temps d'attente inutiles tels que le temps d'attente du patient pour passer un examen médical simple, en utilisant l'ordonnancement qui se base sur le fait que les patients dont l'état est le plus critique passeront les examens en premier et si deux patients sont dans un état similaire, la règle du premier arrivé - premier servi s'appliquera.

Des recherches récentes et intéressantes ont tenté d'apporter quelques réponses pour réduire le temps d'attente au sein d'un service d'urgence (Di Lin et al., 2012 ; Meli et al., 2014). Sur la base des chapitres précédents, les Workflows qui ont été discutées pour être les éléments de base des futurs systèmes d'information de santé de génération au sein de SUP et le soutien de Workflow par l'équipe médicale de SUP, certifient le besoin absolu de mettre en place de telles applications (ou logiciels) non seulement pour déterminer l'origine de la tension mais aussi pour maîtriser tout type d'engorgement dans les différents services. La conception d'une architecture d'orchestration dynamique du Workflow par les agents devient donc nécessaire.



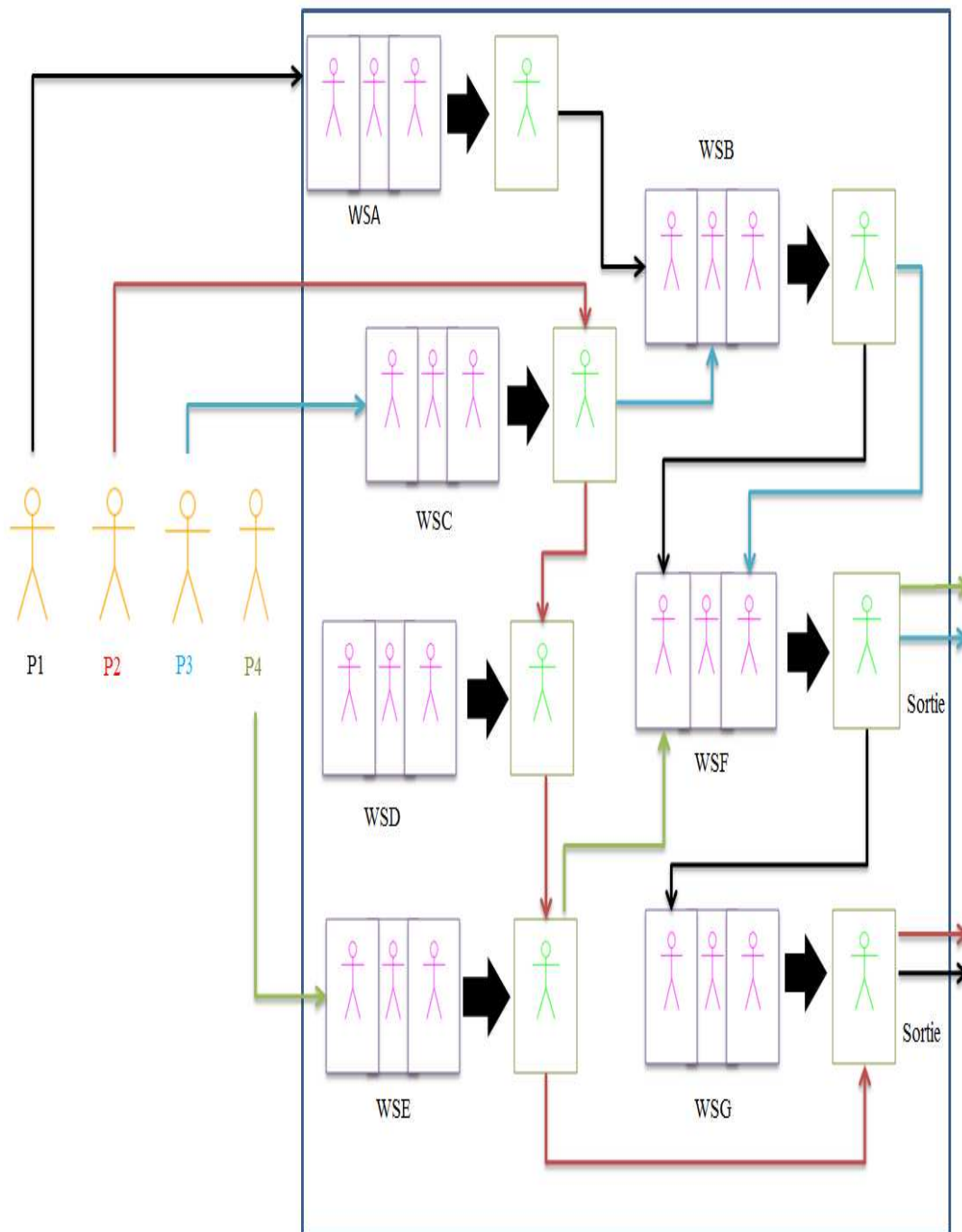
**Figure.IV.15 :** Orchestration dynamique à trois couches

Conformément à nos besoins de maintenir un fonctionnement optimal de SUP. Nous avons mis en œuvre des agents logiciels et des agents humains (couche 2) qui interagissent ensemble au bon moment pour atteindre un objectif commun. Par exemple un des objectifs est aidé le personnel médical à orienter le patient vers un parcours optimal de sa prise en charge. Sachant que chaque agent a des buts bien spécifiques à réaliser selon ses capacités, nous allons se focaliser plus dans cette étape sur l'Agent Ordonnanceur qui dispose d'un algorithme génétique lui assurant un comportement optimisateur. L'originalité de nos travaux de recherche dans cette partie est de déterminer une orchestration dynamique et efficace contrôlée par des agents entre ces différentes couches afin de garder un fonctionnement stable et utile dans le SUP non seulement pour les patients mais aussi pour les personnels

Prenant ainsi quelques exemples des Workflows qui peuvent être exécutés au sien de SUP :

Les patients arrivent au service d'urgence pédiatrique aléatoirement et l'agent ordonnanceur applique les algorithmes génétiques pour ordonnancer leur parcours (voir figure IV.17). Chaque patient lui sera attribuer un parcours sous forme d'une succession des workflows à exécuter. Les parcours à exécuter sont généralement différents les uns aux autres. Chaque parcours/ Workflow se compose d'une ou plusieurs tâches, où chaque tâche correspond à un service, qui est modélisé en tant que nœuds de files

d'attente (voir figure IV.16). Chaque nœud de files d'attente correspond à un certain temps d'attente devant chaque service ce qui montre que le patient va débuter chaque Workflow. Nous remarquons que le patient P2 qui est arrivé par le SAMU effectuera un parcours urgent sans passer par les files d'attentes.



**Figure.IV.16 :** Les différents Workflows à exécuter par chaque patient selon leur parcours de prise en charge. (WSX= Workflow du service X)



**Figure.IV.17 :** Le GANTT fournis par l'agent ordonnanceur

Cet exemple nous montre qu'un aspect du temps d'attente total correspond à déterminer les temps d'attente entre les services intermédiaires, c'est ainsi, que l'agent ordonnanceur pourra agir en orchestrant dynamiquement les workflows pour optimiser ces temps d'attente intermédiaires

Le Workflow au sein de chaque service (WSX) peut être modélisé par une succession des tâches de soins dans le SUP (l'imagerie, le box, UHCD...), ces Workflows de soins sont souvent constitués de multiples tâches qui font usage de plusieurs services, ainsi en ré/orchestrant les tâches de Workflow en utilisant les informations recueillies des modèles de files d'attente de ces services nous pouvons maîtriser le temps d'attente dans les différents services et dans le SUP d'une manière générale.

## IV.5.2 Mesure des performances

La mesure de performance de notre approche est la réduction de temps d'attente à évaluer pour un workflow statique (dans lequel l'ordre des tâches de soins reste inchangé pendant la totalité d'exécution) et un workflow dynamique. Le temps d'attente évalué pour chacun de deux types de workflow en calculant le temps d'attente totale moyen de tous les patients pendant la période de simulation.

Le rapport de Gain de Temps d'Attente (GTA) est calculé par la formule suivante :

$$GTA = \frac{WD_{TA} - WS_{TA}}{|WS_{TA}|} * 100$$

Où :

- $WD_{TA}$  est le temps d'attente moyen de workflow dynamique,
- $WS_{TA}$  est le temps d'attente moyen de workflow statique.

Un pourcentage de gain négatif montre la réduction de temps d'attente pour le cas d'un workflow dynamique alors qu'un pourcentage de gain positif correspond à une incrémentation de temps d'attente pour un workflow dynamique quand il est comparé à un workflow statique. Des résultats de simulation de ce gain seront présentés dans le chapitre 5.

## IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une part l'intérêt de l'alliance SMA-Métaheuristique et d'autre part les approches innovantes pour orchestrer les workflows par les agents. Nous avons mis en évidence l'intérêt d'une architecture d'orchestration dynamique à 3 couches au SUP. Cette architecture représente la colonne vertébrale de ce chapitre et met en exergue une approche d'optimisation collaborative cruciale pour mieux gérer le SUP de CHRU de Lille.

# Chapitre V Simulations et Résultats

## V.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats de simulations de notre approche de résolution proposée issus de trois bases de données (2011-2013)<sup>16</sup> réelles et anonymes. Ces données sont collectées suite aux plusieurs visites au SUP du CHRU de Lille. En effet, nous montrons dans ce chapitre une analyse fine des résultats de la modélisation du parcours patient par l'approche Workflow afin d'identifier les indicateurs pertinents de la tension. Par la suite, nous nous sommes focalisés sur l'étude des résultats de l'indicateur « Pic d'activité » à travers l'alliance entre une Métaheuristique et les Systèmes Multi-Agents. Enfin, des courbes de résultats sont présentées pour démontrer l'intérêt de l'orchestration dynamique de Workflow par l'agent ordonnanceur.

## V.2 Simulation et Résultat : outil de gestion du Workflow

### V.2.1 Simulation en Régime Normal

La simulation s'effectuant sur le même outil que la modélisation (chapitre 3), nous avons commencé nos travaux de simulation sur le modèle validé par le staff médical du SUP de CHRU de Lille.

Pour débiter une simulation, plusieurs paramètres sont à renseigner : les ressources jouent le rôle clé dans le réalisme et la fiabilité des résultats donné par la méthode. Pour chaque tâche de soin, il faut préciser les ressources nécessaires à son déroulement en termes de compétences. A chaque fois qu'une telle tâche est effectuée, elle utilise ces ressources, et si certaines ne sont pas disponibles lorsque la tâche doit commencer, on

---

<sup>16</sup> Voir annexe n°1

attend que toutes les ressources manquantes soit à nouveau disponibles pour lancer effectivement la tâche.

On définit ensuite un flux d'arrivée (le nombre d'instances devant être réalisées et la durée sur laquelle ces instances s'étaleront) pour lancer la simulation. Les résultats obtenus sont des courbes indiquant les temps minimum, maximum et moyen de réalisation des différentes tâches de soin composant le processus et un taux d'utilisation des ressources.

Les premières simulations ont été réalisées en utilisant une base de données réelle du SUP sur 3 ans (2011-2013). Pour ce faire, nous avons élaborés plusieurs profils de charge identifiés à partir de la base de données. Ces profils correspondent à une distribution des flux patients par heure.

Nous avons ensuite affiné le modèle pour faire correspondre la logique de simulation et les logiques réelles régissant le SUP. Une des principales modifications a été la suppression de la tâche « Attente » en cas d'une Urgence Vitale.

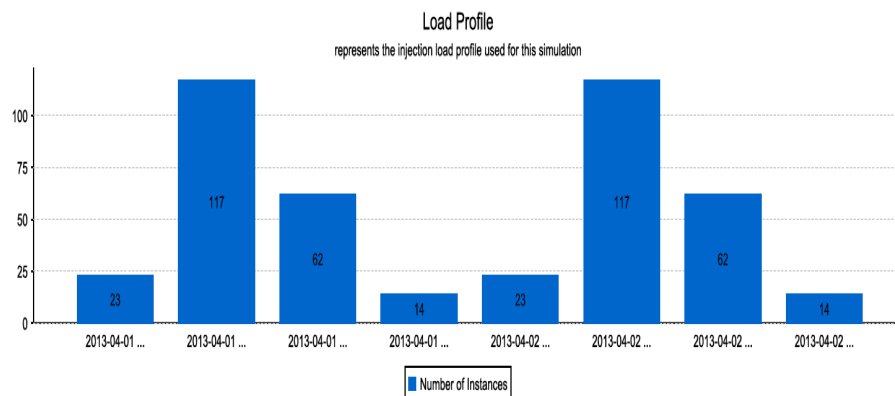
Dans le cas de non Urgence Vitale, l'attente est comptabilisée au niveau de la première prise en charge et additionnée aux attentes générées en inter-tâche car la succession des tâches de soin n'est pas immédiate.

### **V.2.2 La création des profils de charge**

Les profils de charge représentent l'ensemble de paramètres que l'on place en entrée de notre système. L'outil de gestion de Workflow utilisé (BonitaSoft) permet de répartir une charge de manière homogène sur une durée choisie. Cet outil permet également de définir un signal en escalier (le nombre d'entrées en fonction du temps) et de l'injecter en entrée. Nous avons donc élaboré à partir de la base de données et des différentes périodes distinguées, lors de son exploitation, différents profils de charges types. Dans un premier temps, nous avons défini des journées types : hiver, été et crise. Nous avons donc créé pour ces journées-types, trois profils de charge : un profil « été » plutôt calme, un profil « hiver » un peu plus chargé et un profil de « crise » très chargé.

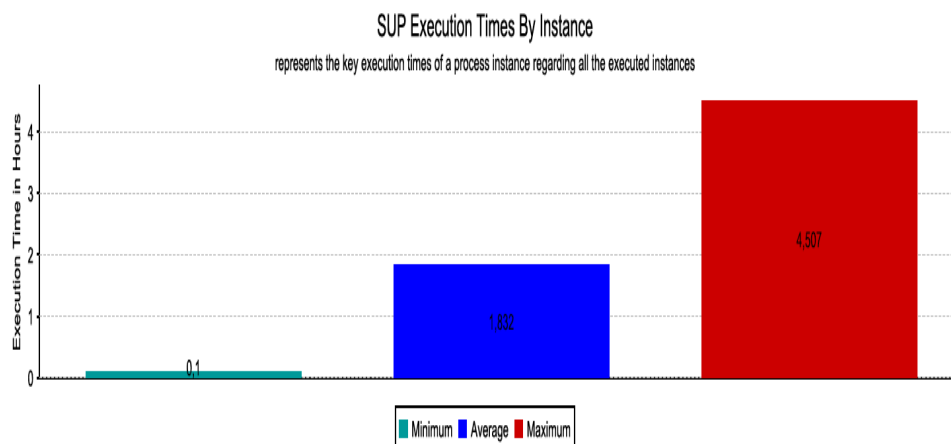
Afin d'obtenir des résultats comparables, nous avons utilisé ces mêmes profils de charge pour générer des simulations pour les modèles en mode normal et en mode tension. Nous avons également utilisé les mêmes ressources pour les deux modes.

Dans ce travail, nous nous sommes focalisés sur le profil de tension afin de pouvoir identifier les pics d'activités et goulots d'étranglements. La figure V.1 ci-dessous représente le profil de charge correspondant au mode de crise.



**Figure. V.1 :** Profil de charge (paramètre de simulation)

A partir de ce profil de charge, nous obtenons les résultats quant à la durée d'exécution totale du parcours, temps d'attente compris, pour un patient « lambda » (figure V.2). Nous pouvons ainsi voir les temps d'exécution « minimum », « maximum » et « moyen » pour un patient entrant dans le SUP.



**Figure.V.2 :** Le temps d'attente dans le SUP

Le temps « minimum » n'a pas de sens puisqu'il correspond au temps passé dans le service lorsque ce dernier est entièrement vide au début de la simulation. Or le service tourne en continu, et il n'est donc jamais vide. Une telle situation ne peut donc pas se produire dans la réalité, et correspond simplement à la partie « tension » de notre simulation. C'est d'ailleurs pour pallier à ce problème que nous établissons nos simulations sur un peu plus de 2 jours, au lieu de 24 heures.

Le temps « maximum » revêt, pour sa part, une grande importance. Il correspond au pire des cas qui s'est produit durant la simulation, il est égal ici à 4h30 passées au sein du SUP. Or, les chiffres avancés par les personnels étaient de 4h30 à 5h dans le pire des cas. Nous avons donc réussi à retrouver un résultat proche par la simulation.

Enfin, le temps « moyen » passé dans le service avoisine les 2h, ce qui correspond également au temps moyen annoncé par les personnels (médecins) cités précédemment lors de la visite au sein du SUP.

De surcroît, ces temps peuvent être légèrement inférieurs à ceux réellement mesurés puisque la simulation possède des limites, dues entre autres à la discrétisation des données, et ne peut donc pas correspondre parfaitement à la réalité. Néanmoins, nous avons remarqué qu'ils se concordent plutôt bien.

### **V.2.3 Des scénarios de tests par profil de charge**

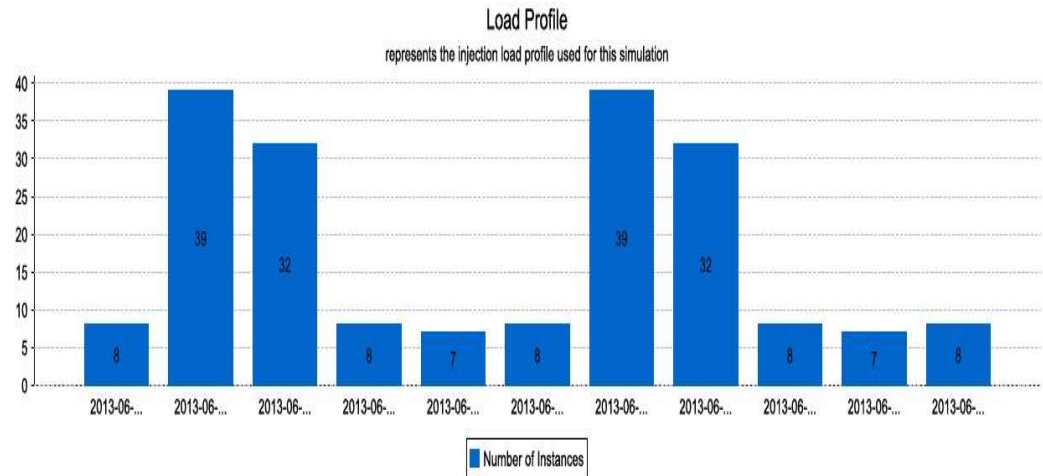
Nous nous concentrerons principalement sur les courbes indiquant les temps d'attente minimum, maximum et moyen en fonction du temps dans chaque tâche et sur le taux d'utilisation des différentes ressources.

Notre but, en exploitant la modélisation normale, est de déterminer grâce à ces courbes les facteurs de tension de ce régime afin de pouvoir, lors de leur apparition, basculer sur le modèle en régime saturé pour avoir une image totale du fonctionnement du service, quel que soit le régime, et ainsi identifier les principales causes d'attente avant de chercher à les limiter au mieux pour réduire le temps d'attente au maximum. Une attention particulière sera également accordée aux ressources dont le taux d'utilisation cherche à dépasser 100%, traduisant qu'un fonctionnement plus rapide demanderait une

augmentation de ces ressources, ce qui n'est évidemment pas une solution sérieusement envisageable pour résoudre le problème d'engorgement dans le service, mais qui souligne les points et les postes sur lesquels notre outil devra agir pour soulager le système de sa saturation.

Nous avons mis en évidence trois profils de journée type grâce à la base de données fournie par l'hôpital. La différence entre les profils est caractérisée par le nombre de patients et l'heure d'arrivée qui varient selon la période de l'année. Nous avons choisi de simuler sur une période de deux jours afin de constater les répercussions du premier jour sur le deuxième.

- **Profil été :**



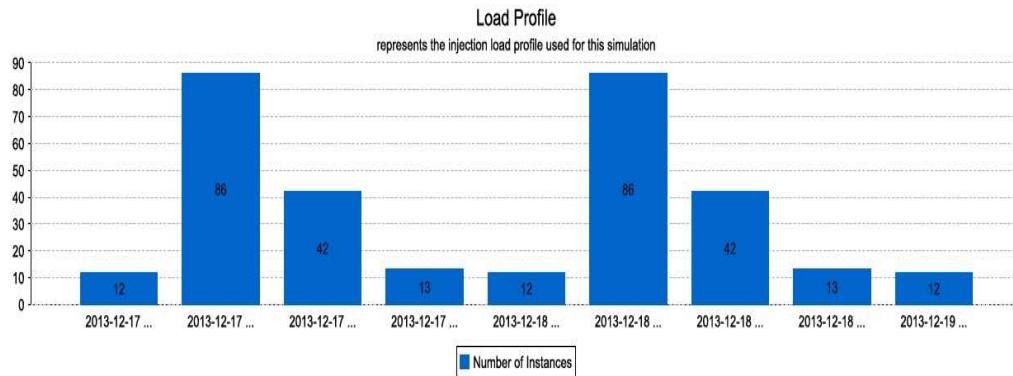
**Figure.V.3 :** Nombre de patients par tranche horaire dans une journée

Nom :

|                   |       |                               |                          |
|-------------------|-------|-------------------------------|--------------------------|
| Début: 21/06/2013 | 08:00 | Type de répartition: CONSTANT | Nombre d'instance(s): 8  |
| Fin: 21/06/2013   | 10:00 |                               |                          |
| Début: 21/06/2013 | 10:00 | Type de répartition: CONSTANT | Nombre d'instance(s): 39 |
| Fin: 21/06/2013   | 18:00 |                               |                          |
| Début: 21/06/2013 | 18:00 | Type de répartition: CONSTANT | Nombre d'instance(s): 32 |
| Fin: 21/06/2013   | 22:00 |                               |                          |
| Début: 21/06/2013 | 22:00 | Type de répartition: CONSTANT | Nombre d'instance(s): 8  |
| Fin: 22/06/2013   | 01:00 |                               |                          |

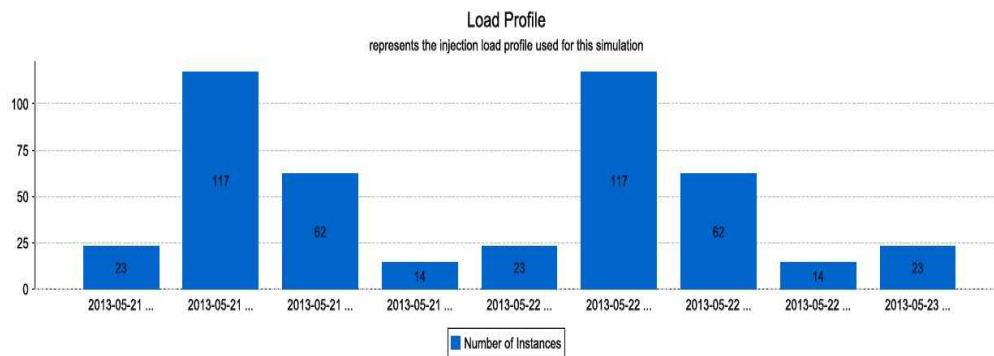
**Figure.V.4 :** Nombre de patients par tranche horaire dans une journée sous Bonitasoft

- **Profil hiver :**



**Figure.V.5 :** Nombre de patients par tranche horaire dans une journée (Hiver)

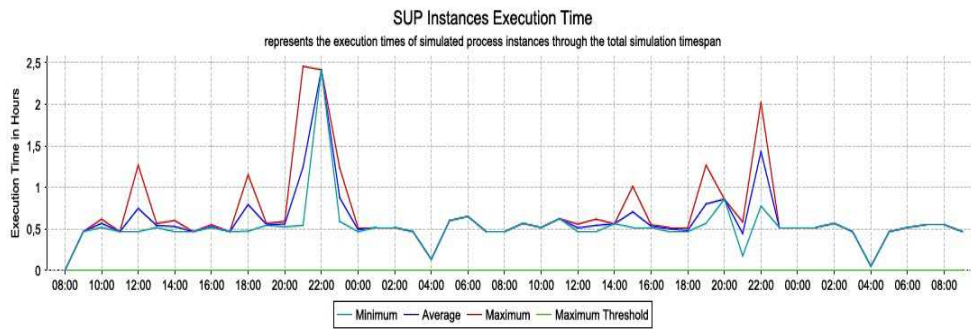
- **Profil crise :**



**Figure.V.6 :** Nombre de patients par tranche horaire dans une journée (crise)

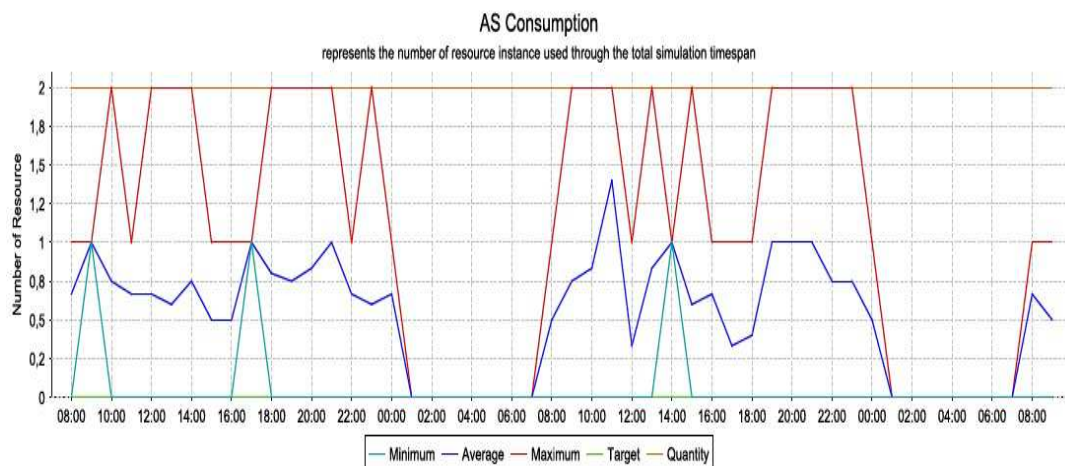
### V.2.3.1 Scénarios profil été

Nous avons d'abord testé un profil de charge léger qui retranscrit l'activité plutôt faible du service des urgences pédiatriques en été. Nous constatons que le temps d'attente moyen dans le service se situe entre 30min et 2h30min, avec un pic entre 18h et minuit.



**Figure.V.7 :** Temps d'attente moyen pendant l'ETE

Le temps nécessaire à l'accueil et à l'orientation du patient est de l'ordre de 10min ce qui est tout à fait raisonnable. Il en est de même pour l'enregistrement du patient. Remarquons également que le personnel est utilisé à hauteur de 40% de sa capacité. Prenons l'exemple des Aide Soignantes (AD) qui sont deux dans le service. Elles sont rarement occupées simultanément et peuvent gérer une arrivée soudaine de patients.

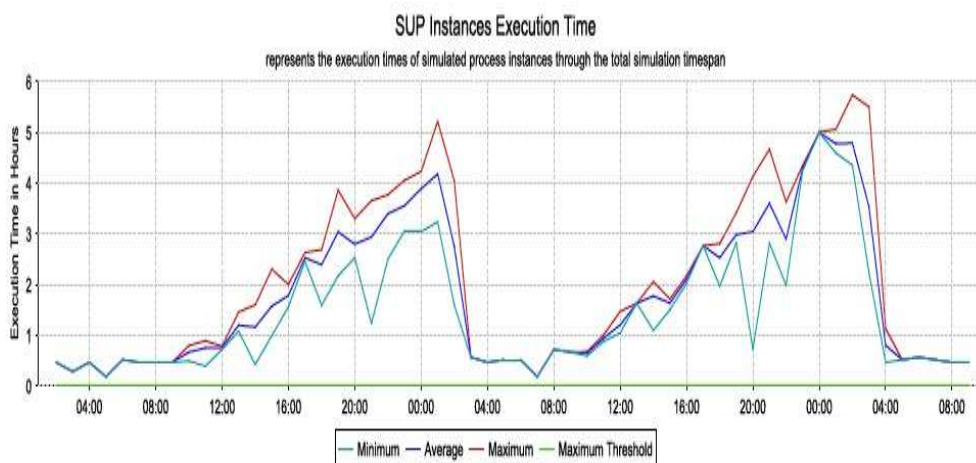


**Figure.V.8 :** Nombre d'utilisation de la ressource (AS) pendant l'ETE

En revanche les IDE sont occupés à hauteur de 70% tout au long de la journée. Quant aux box, seuls 3 sur dix sont attribués à un patient.

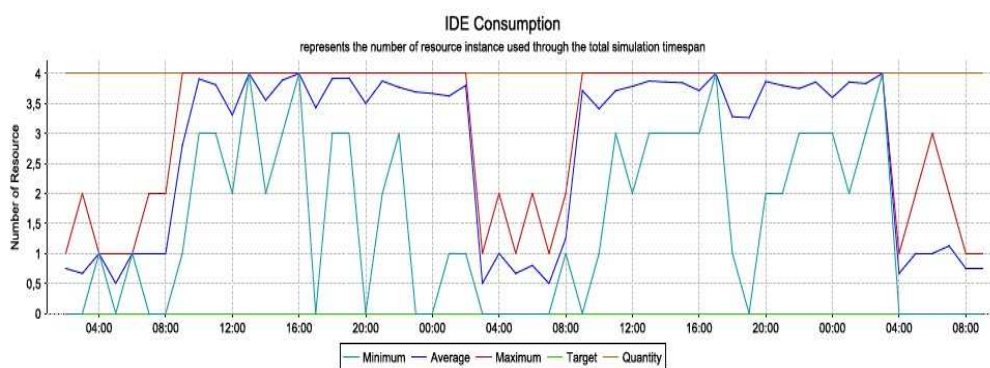
### V.2.3.2 Scénarios profil hiver

Le profil hiver perturbe d'avantage le service puisque le temps d'attente moyen se situe désormais entre 1h et 4h avec un pic à minuit.



**Figure.V.9 :** Temps d’attente moyen pendant l’HIVER

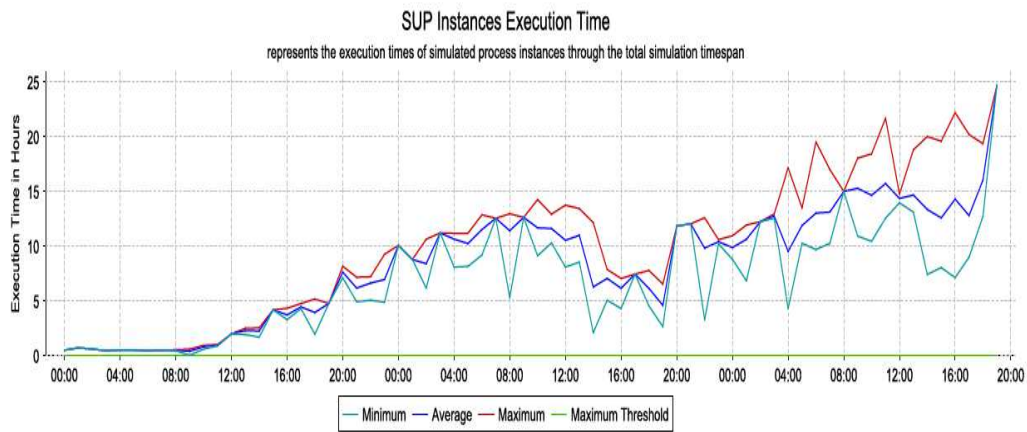
Le processus d’accueil et d’orientation du patient atteint 1h entre 20h et minuit. L’utilisation de la ressource AS passe à 50% tandis que la ressource IDE plafonne à 95% en journée. Nous constatons que seule 3 box sur 10 sont utilisés en journée alors que nous devrions constater une augmentation.



**Figure.V.10 :** Nombre d’utilisation de la ressource (IDE) pendant l’HIVER

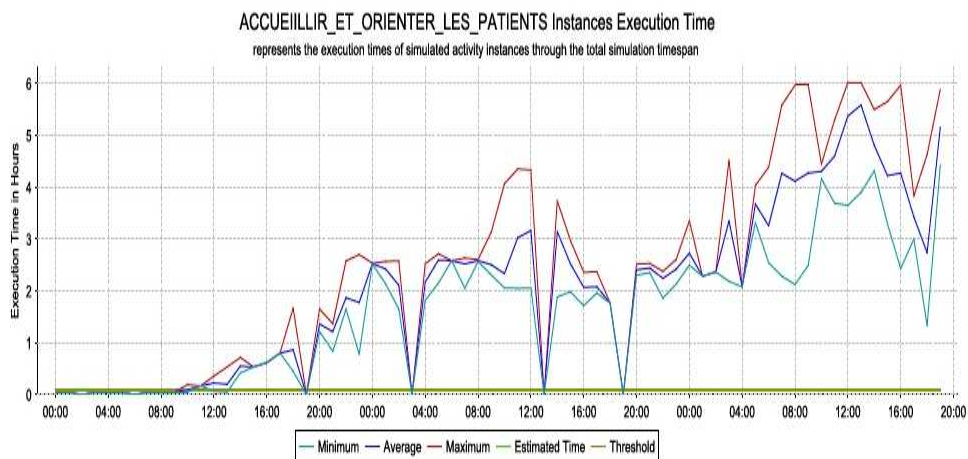
### V.2.3.3 Scénarios profil crise

Le profil de crise met en évidence les limites du service des urgences pédiatriques puisque le temps d’attente moyen diverge et s’estime en dizaine d’heures. Le personnel ne peut pas gérer à la fois les patients présents dans l’hôpital et ceux arrivant.



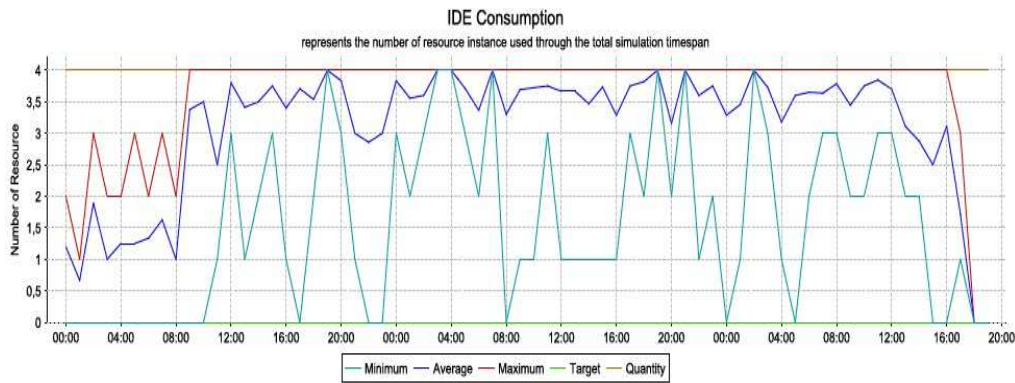
**Figure.V.11 :** Temps d’attente moyen période de CRISE

L’accueil et l’orientation des patients est de plus en plus long.



**Figure.V.12 :** Temps d’attente moyen pour l’accueil et l’orientation période de CRISE

Le temps d’attente en UHCD peut atteindre 4h le premier jour entre 8h et midi et 6h le deuxième jour. Il en est de même pour les services externes comme la pose de plâtre ou de points de suture. Le problème majeur concerne les quatre IDE qui travaillent sans interruption durant les deux jours de test.



**Figure.V.13 :** Nombre d'utilisation de la ressource (IDE) période de CRISE

En revanche, nous nous attendions à ce que les box soient tous utilisés mais ce n'est pas le cas puisque seules trois d'entre eux accueillent un patient.

## V.2.4 Simulation en Régime de Tension

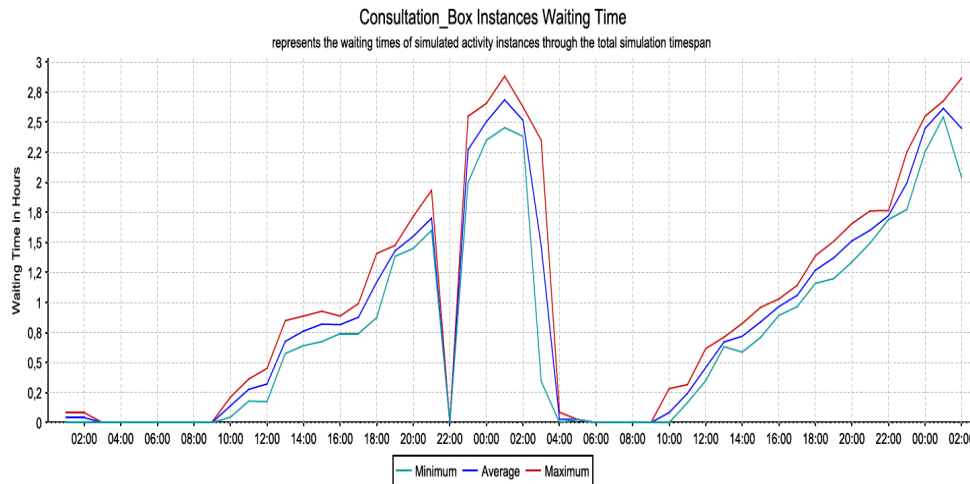
### V.2.4.1 Attente pour consultation

Les simples consultations représentent l'immense majorité des cas traités par le SUP: 78% dans notre modèle. Ce chiffre est celui qui a été estimé par le staff médical, et représente donc une estimation de la réalité des faits.

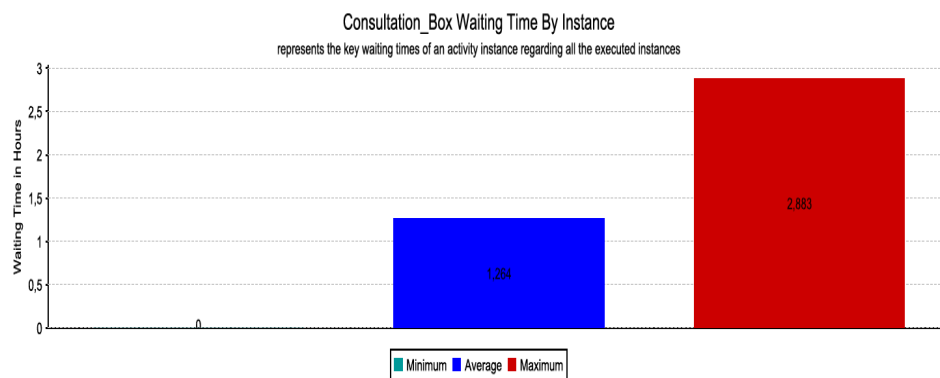
Néanmoins, il est clair que ces consultations jouent un rôle primordial dans l'utilisation des ressources du SUP. En outre, ces consultations ne représentent pas les cas les plus urgents, bien au contraire. Ainsi, l'attente des patients se concentre surtout ici, et la gestion de ce secteur a un impact qui sera automatiquement très important sur le temps d'attente moyen des patients transitant par le SUP.

Dans notre simulation de tension, ces consultations peuvent s'effectuer majoritairement dans deux types de salles différentes : les box, comme en régime normal, et les salles de plâtres et sutures. Afin de conserver un fonctionnement correct du service, et notamment du secteur des Urgences Vitales, nous avons préféré ne pas prendre en compte le fait que de telles consultations puissent être effectuées dans la salle d'urgences vitales. Nous y reviendrons plus tard pour parler en détail des Urgences Vitales.

Finalement, nous avons abouti aux résultats suivant pour des consultations en box :



**Figure.V.14 : Simulation du BOX**

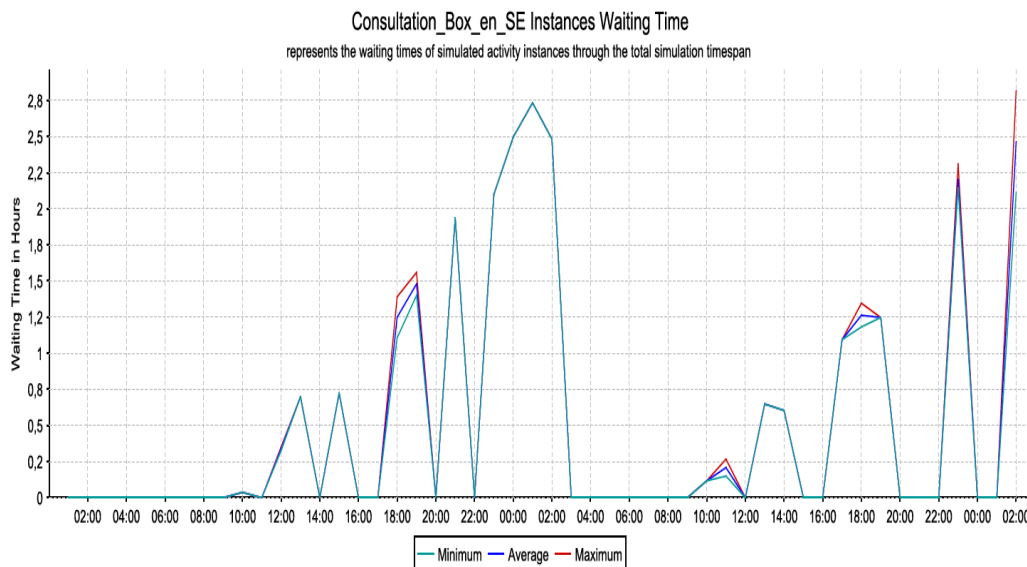


**Figure.V.15 : Consultation dans les BOX**

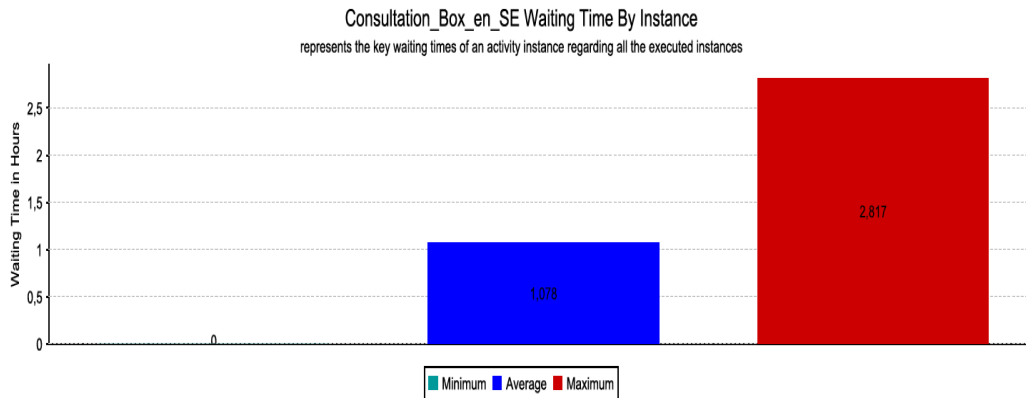
Nous aboutissons donc à un résultat cohérent du point de vue de l'hôpital puisque le temps d'attente augmente graduellement au cours de la journée, à partir de 9h, et redescend ensuite de manière abrupte aux alentours d'1h à 2h du matin. Le pic, qui se situe vers 1h du matin, est un peu tardif, vis-à-vis de la réalité, mais la forme de la courbe semble tout à fait correspondre à ce qui se passe dans le SUP. L'attente moyenne est donc d'environ 1h20, et peut atteindre presque 3h dans le pire des cas, pour une seule consultation. Ces chiffres trouvent donc un écho favorable dans la réalité. Par contre, la nuit, le service est plutôt calme, comme dans la réalité.

Nous pouvons néanmoins nous interroger sur l'exactitude de l'attente à 22h, le premier jour. Les données étant échantillonnées toutes les heures, nous pouvons supposer que l'attente à 22h aurait dû se trouver approximativement entre celle à 21h et celle à 23h, comme pour le deuxième jour. Or, sur les courbes d'attente obtenues, on est surpris de voir que l'attente à 22h s'est totalement résorbée, alors que les entrées de patients sont toujours aussi soutenues, et que celle à 23h est encore plus élevée que celle à 21h, alors même que les entrées commencent à décliner. Il est également possible que l'attente se soit en partie résorbée, et que l'outil ait mal calculé le point d'arrivée. En tout état de cause, ceci dénote bien le fait que cet outil n'est pas infallible, et qu'il ne peut nous donner qu'une estimation des données réelles.

Cependant, les consultations peuvent également être réalisées dans les salles de plâtres et sutures. Il convient donc de les prendre en compte comme indiqué dans les résultats obtenus dans la figure.V.16 et la figure.V.17.



**Figure.V.16** : Consultation dans salle Plâtres/Sutures



**Figure.V.17 :** Simulation dans la salle de Plâtres/Sutures

Encore une fois, les résultats sont plutôt cohérents avec la réalité du service, tant sur la forme des courbes obtenues, qui en moyenne tendent à augmenter progressivement jusqu'à leur chute brutale à partir d'1h du matin, que sur les chiffres. Nous pouvons également dire que ces résultats sont plutôt cohérents avec les résultats dans les box. Ainsi, les paramètres de la simulation ont été correctement choisis.

Nous retrouvons ainsi un pic un peu tardif vers 1h du matin, et une décroissance brutale entre 1h et 3h du matin (attente nulle à partir de 3h). Néanmoins, que ce soit dans les box ou dans les salles de plâtre et suture, le fait que le pic soit un peu tardif n'a pas d'influence sur le reste du fonctionnement du service puisqu'on observe toujours une période calme d'attente nulle sur le reste de la nuit (3h/4h – 9h environ). Ainsi, le service repart « à vide » le lendemain, comme c'est le cas dans la réalité, et ne cumule donc pas l'attente de ses patients d'une journée sur l'autre.

D'autre part, le temps d'attente moyen est d'environ 1h10, contre 1h20 dans les box. Dans la pratique, ces deux chiffres devraient être parfaitement identiques, mais la modélisation ne peut être parfaite, et elle ne fait une erreur que d'environ 14%. Ce n'est pas rien, mais c'est acceptable étant donné la complexité de notre modélisation. Pour ce qui est du temps d'attente maximum, il est pratiquement identique à celui trouvé dans les box, soit presque 3h.

Enfin, nous pouvons à nouveau nous interroger sur la pertinence de ces pics, qui repassent pratiquement tous par une attente nulle, alors qu'en réalité nous devrions

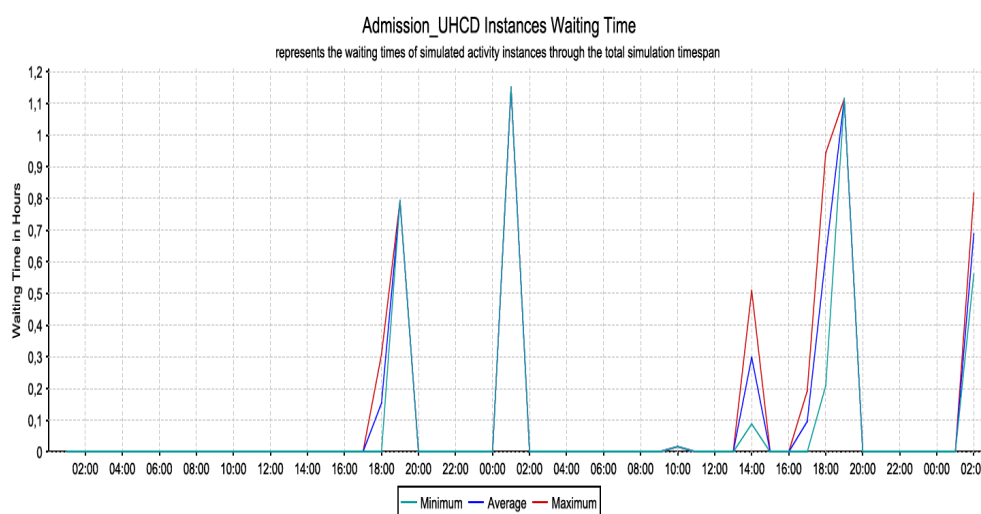
plutôt obtenir une attente assez angulaire certes, mais s'affaissant sans repasser par une attente nulle avant de remonter.

Ceci étant dit, il s'agit là d'une modélisation en régime transitoire. Ainsi, le but est de revenir le plus rapidement possible en régime permanent. Nous pouvons donc également supposer que ce régime fonctionne bien pour résorber l'attente, et que les médecins prendront alors la décision de revenir sur un fonctionnement « permanent » dès que l'attente reviendra à un niveau acceptable, et d'y revenir lorsque l'attente raugmentera de manière alarmante.

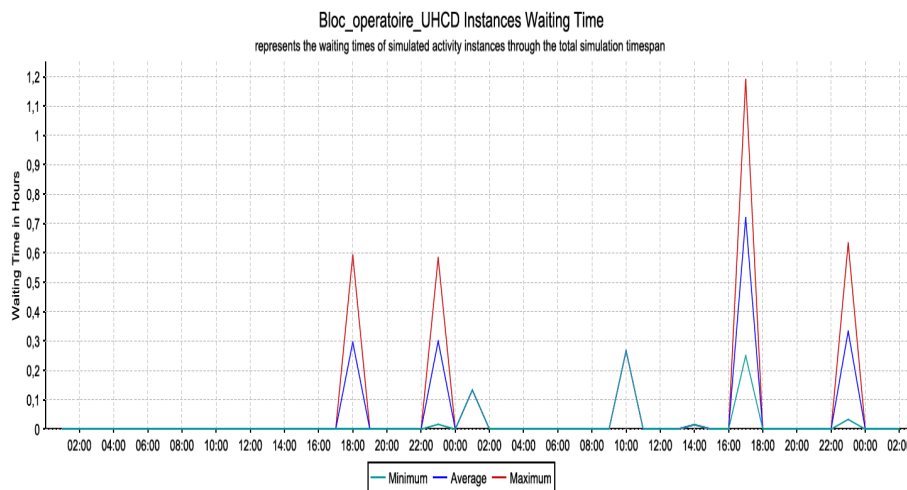
#### V.2.4.2 Pics d'activité dans l'UHCD

Comme susdit, le but de notre simulation en régime de tension est de revenir le plus rapidement possible en régime normal, qui est le régime de référence. Ainsi, nous devons observer des pics d'activité, puisque les admissions sont importantes, mais ces dernières doivent se résorber rapidement.

C'est bien ce que nous observons pour toutes les autres tâches réalisées dans le service, comme en Unité d'Hospitalisation Courte Durée (UHCD). Les figures V.18 et V.19 représentent respectivement les courbes d'attente à l'admission ainsi qu'au niveau du bloc opératoire. Ces graphiques dénotent bien le fonctionnement en période de pics, qui redescendent brutalement.



**Figure.V.18 : Temps d'attente dans l'UHCD**



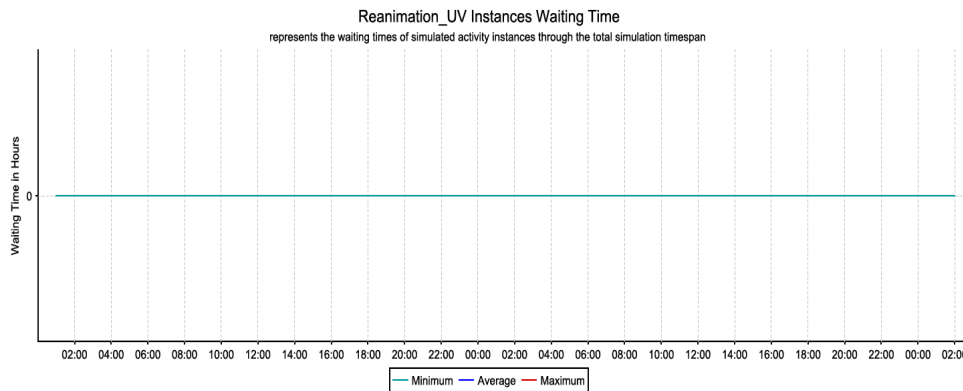
**Figure.V.19 : Temps d’attente dans l’UHCD (Bloc opératoire)**

Certaines périodes sont plus encombrées que d’autres, et l’important est de faire en sorte que notre régime de fonctionnement permette à l’attente de se résorber rapidement, ce qui est beaucoup plus facile dans les services d’UHCD ou autres, que pour les consultations dont nous nous sommes intéressés plus haut. Enfin, nous observons bien ces retours rapides à une activité normale.

#### **V.2.4.3 Le cas particulier des Urgence Vitale (UV)**

Le secteur des Urgences Vitales possède une singularité intrinsèque qui ne se retrouve nulle part ailleurs dans le SUP : il traite les cas les plus urgents, et ne peut donc pas comporter d’attente. Ainsi, pour modéliser au mieux cette particularité, qui est primordiale au sein du service, nous avons fait le choix de conserver une spécificité totale de la salle d’Urgences Vitales. Elle n’est donc dédiée qu’aux cas les plus urgents, même si, dans la réalité, elle peut être allouée à une autre tâche, lorsqu’il n’y a pas de cas urgent à traiter.

Nous observons donc bien une attente nulle en réanimation, et ce quelle que soit la charge et l’heure de la journée. Le résultat est exposé ci-dessous :



**Figure.V.20** : Temps d'attente dans l'UV

## V.3 Simulations et Résultats de l'ordonnancement à base d'agents des activités des soins

### V.3.1 Plateforme d'expérimentation

Dans la littérature, plusieurs plate-formes coexistent (Daknou, 2011 ; Taghezout, 2011), et des plus connues nous pouvons citer : *SWARM* (Burkhart, 1994 ; Daniels, 1999 ; Daniels, 2000), *DIMA* (Guessoum, 1996), *MADKIT* (Madkit, 2001), *Zeus* (Azvine, 2000), *JADE* (Bellifemine & al., 1999 ; Bellifemine & al. 2000 ; Bellifemine et al. 2005 ; Bellifemine et al., 2008). 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.

Pour la sélection de la plateforme, nous avons négligé les critères insignifiants tels que la difficulté d'apprentissage ou le 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 notre cas, nous avons décidé d'utiliser une plate-forme conforme à la FIPA (*Foundation of Intelligent Physical Agents*) parce qu'elle répond particulièrement bien à nos besoins. La FIPA est une organisation dont le but est de produire des standards pour l'interopération d'agents logiciels hétérogènes. Cette plateforme nommée JADE (***Java Agent DEvelopment framework***) est un logiciel-médiateur « *middleware* » créé par le laboratoire TILAB. JADE est aussi un intergiciel qui permet une application souple des systèmes multi-agents. Il dispose d'un transport efficace des ACL (***Agent Communication Language***) pour les messages agents conformes aux spécifications de la FIPA. La plateforme JADE est écrite en langage Java et soutient la mobilité. Il est important de noter que JADE est une plateforme entièrement multi-agent, ce qui signifie que chaque outil intégré (figure. V. 21) est un agent à part entière. Nous utilisons un outil graphique de JADE qui scrute l'échange de messages entre les agents. Il établit le flux de communication entre plusieurs agents. Cet outil est utile pour déboguer une conversation entre les agents: nous pouvons voir la communication entre les agents à l'arrivée du patient dans le SUP. Dans la fenêtre de gauche de l'outil graphique Sniffer (figure.V.22), nous pouvons voir les différents conteneurs qui représentent l'environnement d'exécution des agents.

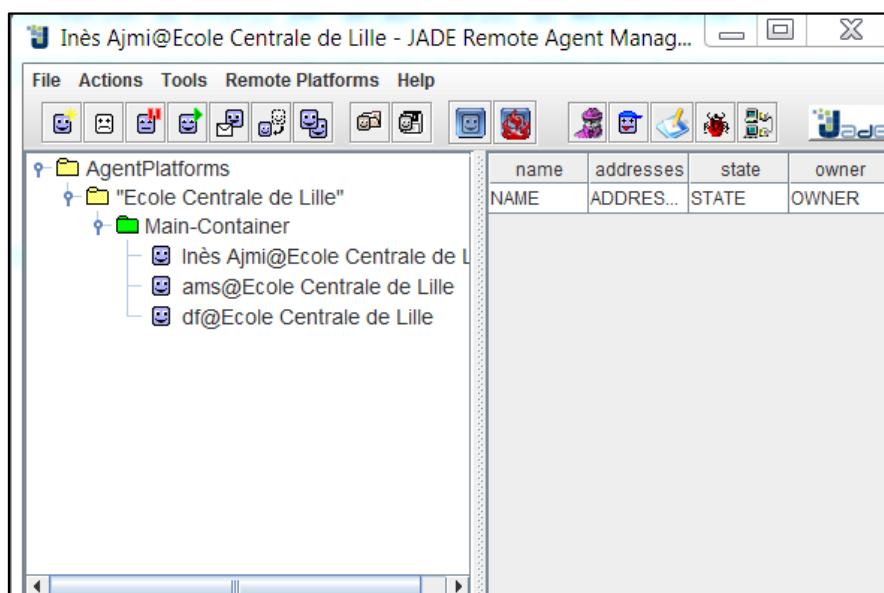


Figure.V.21 : JADE Administration

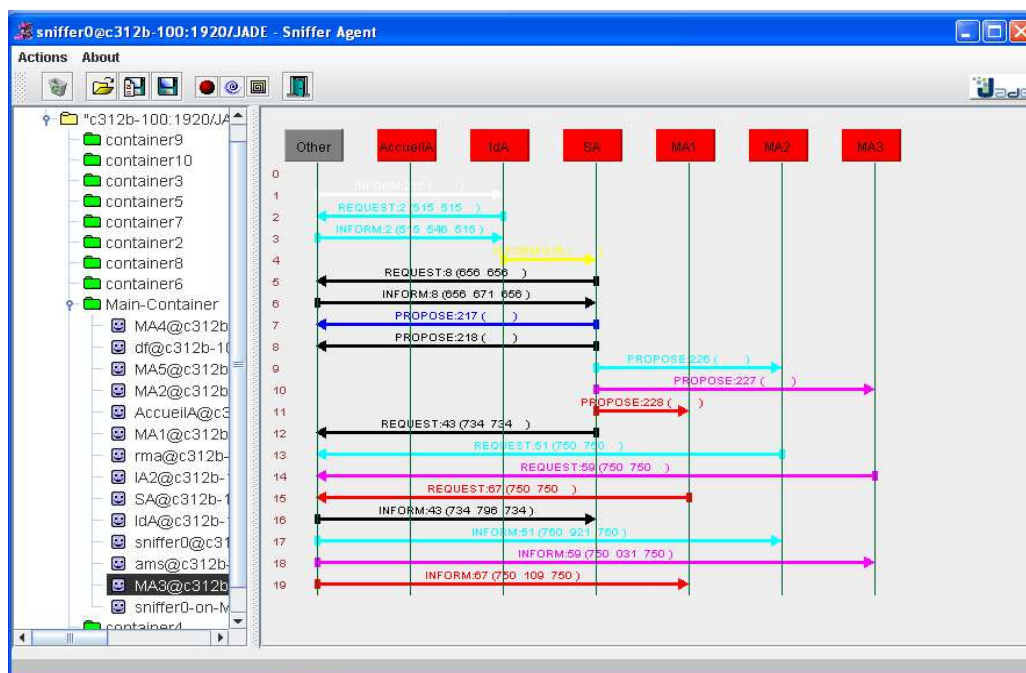


Figure.V.22 : Agent Sniffer

### V.3.2 Fonctionnement de l'alliance SMA-Métaheuristique au profit de l'ordonnancement des tâches de soin

Pour comprendre le fonctionnement de notre système, nous présentons dans cette partie un scénario d'un cas au SUP où nous expliquons comment les Agents agissent, comment ils coopèrent, quelles sont les informations qu'ils utilisent pour générer des résultats.

Supposons l'arrivée de 3 patients à l'instant  $t=0$  au SUP disposé de 4 personnels médicaux disponibles maîtrisant 3 types de compétences avec des degrés d'expérience compris entre 0 et 1 (voir tableau V.1 et V.2).

| IdPersonnel | Description        |
|-------------|--------------------|
| $P_1$       | Médecin (Pédiatre) |
| $P_2$       | IAO <sub>1</sub>   |
| $P_3$       | IAO <sub>2</sub>   |
| $P_4$       | IDE                |

Tableau.V.1 : Personnel médical du SUP

|                | Personnes      |                |                |                |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                | P <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> | P <sub>3</sub> | P <sub>4</sub> |
| C <sub>1</sub> | 1              | 0,4            | 0.4            | 0              |
| C <sub>2</sub> | 0,8            | 1              | 1              | 0,6            |
| C <sub>3</sub> | 0,7            | 1              | 1              | 1              |

**Tableau.V.2 :** Compétences du personnel

Selon les deux tableaux (Les tableaux V.1 et V.2) Le patient 1 souffre d'un traumatisme crânien bénin sans perte de conscience, Le deuxième patient souffre d'un arrêt cardiorespiratoire. Et le dernier patient 3 souffre d'une pneumonie non compliquée.

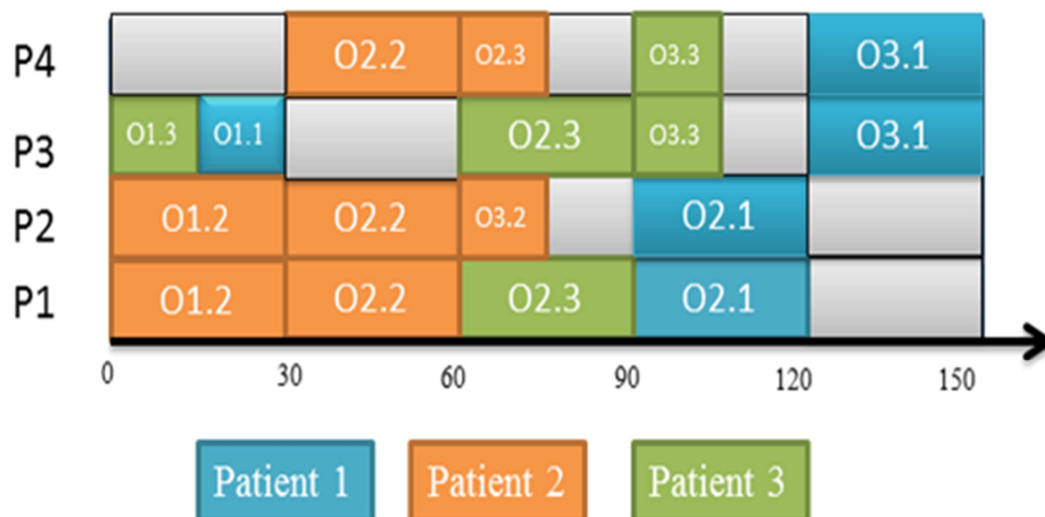
L'agent AA est lancé suite à la saisie des données collectées des patients dans le système par l'IAO. L'IAO s'approche du patient pour une évaluation de triage, à savoir qu'elle l'examine pour la première fois et qu'elle demande à ses parents quelques questions au sujet de son histoire et le contexte. 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).

|    | Opérations (délai limite d'intervention) |                       |                      |                      |                      |                       |                       |
|----|------------------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|    | O <sub>1,1</sub> (12)                    | O <sub>2,1</sub> (14) | O <sub>1,2</sub> (5) | O <sub>2,2</sub> (7) | O <sub>3,2</sub> (9) | O <sub>1,3</sub> (10) | O <sub>2,3</sub> (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.V.3 :** Identification des opérations de soin à t=0

Les données reportées dans le tableau (V.3) seront transmises à l'agent (AO) qui a pour mission d'appliquer les algorithmes génétiques pour affecter les équipes médicales à compétences multiples nécessaires pour le traitement de chaque patient. Il est composé de 15 opérations de soin ordonnancées sur les 4 membres du personnel présents au SUP. L'agent (AO) examine les compétences requises pour chaque opération de soin et cherche la personne la plus adéquate et la plus disponible pour la réaliser. Par exemple, pour l'opération de soin (O<sub>1,2</sub>) 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 eu 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.V.23. Chaque personne mobile de l'équipe médicale (AMP) reçoit cette proposition d'affectation des tâches de soin sur son ordinateur ou téléphone mobile. Après que l'(AO) ait fourni le Gantt des tâches à réaliser figure.V.23, les AMP peuvent confirmer leur accord ou encore, ils peuvent toujours n'accepter qu'une partie du Gantt généré tout dépend de leur contraintes de disponibilités.



**Figure.V.23 :** Gantt fourni par AO à  $t=0$

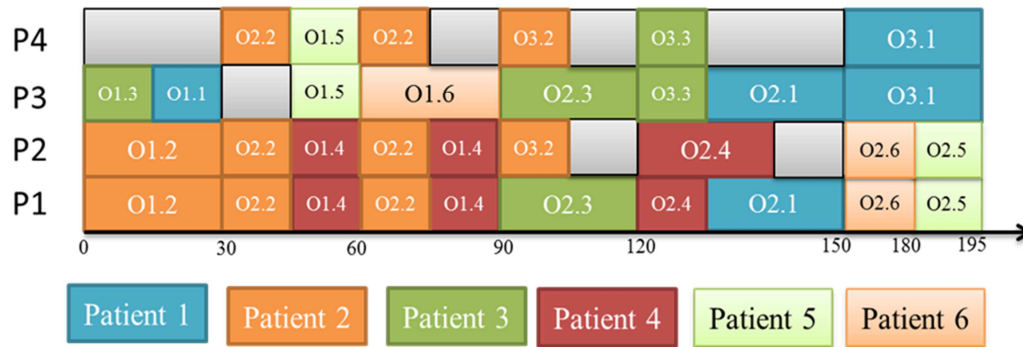
Supposons maintenant ( $t=2$ ) l'arrivée de 3 nouveaux patients: le patient 4 qui souffre d'une hypertension nécessitant un soin urgent, le patient 5 blessé au genou et le patient 6 qui présente un état grippal.

|           | Opérations (délai limite d'intervention) |                       |                       |                       |                       |                       |
|-----------|------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|           | O <sub>1,4</sub> (6)                     | O <sub>2,4</sub> (10) | O <sub>1,5</sub> (16) | O <sub>2,5</sub> (19) | O <sub>1,6</sub> (15) | O <sub>2,6</sub> (16) |
| <b>C1</b> | 30                                       | 15                    | 0                     | 15                    | 0                     | 15                    |
| <b>C2</b> | 30                                       | 30                    | 15                    | 15                    | 30                    | 15                    |
| <b>C3</b> | 0                                        | 0                     | 15                    | 0                     | 0                     | 0                     |

**Tableau.V.4** : Identification des opérations de soin à  $t=2$

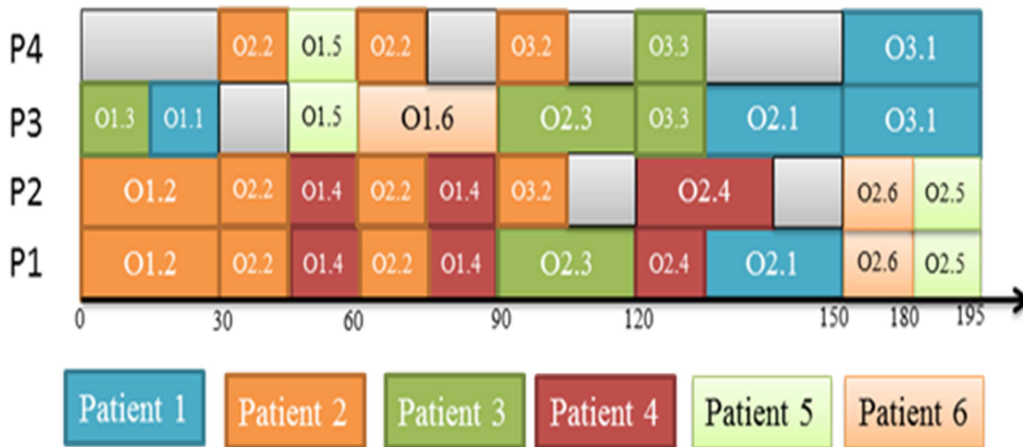
De la même façon que précédemment décrit, l'agent AA va enregistrer les données relatives à ces patients et attribuer un ordre de priorité à chacun d'eux (tableau V.4). Ainsi, le patient 4 devient plus prioritaire que les autres patients (1 et 3) non encore traités. En plus, l'état urgent du patient 4 nécessite l'interruption de la 2ème opération du patient 2 qui est en cours d'exécution. De ce fait, l'(AO) va générer un nouvel ordonnancement en tenant compte de ces nouvelles circonstances. Ainsi, les plages inexploitées de chaque membre du personnel seront recalculées afin d'essayer d'insérer les opérations de soin de ces nouveaux patients. Nous constatons dans cet exemple qu'il est possible d'insérer les premières opérations de soin du patient 5 et 6. Le réordonnancement de l'(AO) permet d'affecter les opérations de soin du patient 4 avant de traiter celles des patients 1 et 3 qui sont décalées puisqu'elles sont moins urgentes. Puis, on trouve les deuxièmes opérations de soin des patients 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 V.4). Chaque membre mobile de l'équipe médicale (AMP) reçoit donc 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 collaboration entre les agents permet de réaffecter l'ensemble des opérations de soin en attente (Figure.V.24). A la réception de ce nouveau planning, les agents  $AMP_1$  et  $AMP_2$  relatifs au personnel médical  $P_1$  et  $P_2$  valident ce nouvel ordonnancement puisqu'ils ont déjà stabilisé l'état du patient 2 et peuvent donc 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.V.24 :** Gantt fourni par AO  $t=2$

Supposons que l'état du patient 2 ne tolère pas la libération de P1 et P2. Dans ce cas, suite au processus de réordonnancement lancé par l'agent AO, les agents *AMP1* et *AMP2* ne vont pas totalement accepter cette nouvelle proposition de telle sorte qu'à partir de la date de fin de l'opération (O2.2) en cours ils acceptent de réaliser la suite des opérations. Ainsi l'agent AO confirme partiellement l'ordonnancement validé par le personnel médical en attendant qu'il trouve une nouvelle solution. Finalement, la nouvelle affectation envoyée par l'agent AO consiste à déléguer au départ l'opération (O1.4) à P3 en attendant que P1 le rejoigne pour finir la tâche. Le résultat de ce réordonnancement est donné par la figure.V.25 ci-dessous.



**Figure.V.25 :** Gantt de réordonnancement à l'instant  $t=2$

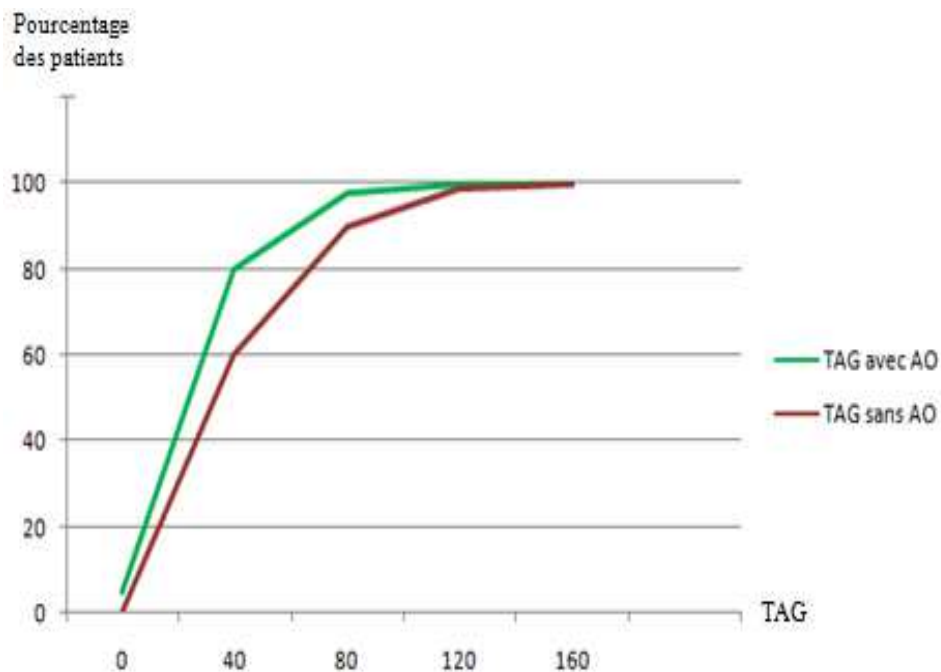
La mise en œuvre de notre architecture de résolution sur des données réelles de grande taille sera présentée dans le paragraphe qui suit.

### V.3.3 Mise en œuvre de l'architecture de résolution avec des données réelles de grande taille

L'AO permet d'ordonnancer et de réordonnancer en cas de perturbations les tâches de soin afin de prendre en charge les patients de la manière la plus efficace possible en réduisant leur temps d'attente. Dans cette partie, nous démontrons l'efficacité de notre architecture de résolution en termes de Temps d'Attente Global du patient (TAG).

- **Temps d'Attente Global du patient (TAG)**

Grace à l'AO, le TAG des patients au SUP étudié devient inférieur à une heure chez (79%) des patients alors qu'il était initialement supérieur à 2 heures (sans l'AO) pour (72 %) de ces patients. 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.V.26).



**Figure.V.26** : Distribution du temps moyen d'attente avec Agent ordonnanceur

Le TAG était en général moins élevé le matin (avant 9h) et le soir (après Minuit). Il était supérieur à une heure chez des patients inscrits dans la période de charge de travail (à partir de 18H). Le TAG est déterminé selon le degré de gravité, et d'après la Classification Clinique des Malades des Urgences (CCMU) (Tableau IV.1.1), Selon les experts en soins médicaux, 61 % de ceux qui ont passé plus de deux heures avaient eu au moins une prise en charge sans examens complémentaires. La majorité des patients (86%) qui ont passé plus de 2 heures au SUP avaient eu un ou plusieurs examens complémentaires radiologiques etc.

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

- Le délai d'attente : un patient peut passer la majorité de son séjour aux SUP en attendant la première prise en charge. Cette attente est très élevée pendant la période des tensions.
- Le degré de gravité (CCMU) : le temps que passe un patient au SUP semble varier selon la gravité de son état. Les résultats ont montré qu'un état grave a tendance à avoir un TAG 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.
- Demande d'avis spécialisés : l'attente de l'arrivée d'un médecin spécialiste semble augmenter le TAG. Le temps mis par ces médecins pour arriver au SUP, diffère peu d'une spécialité à l'autre. Mais le temps que passe le patient après l'arrivée du médecin spécialiste 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.

## **V.4 Simulation et Résultat de l'Orchestration dynamique du Workflow par l'Agent Ordonnanceur**

Dans le chapitre 4, nous avons montré l'intérêt de l'approche de l'orchestration dynamique du Workflow par l'agent ordonnanceur. Dans cette partie, nous montrons quelques résultats de simulation avec l'approche adoptée, dont l'objectif est de réduire en temps réel les temps d'attentes des patients.

### **V.4.1 L'Agent Ordonnanceur au service de l'orchestration**

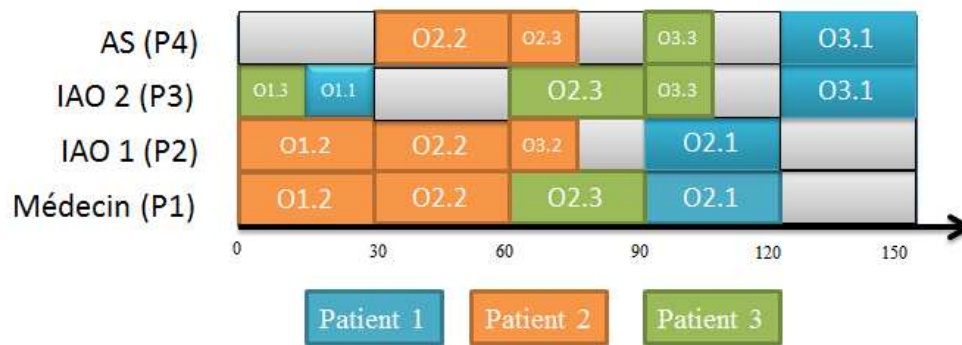
Grâce à la capacité multiple de l'AO : ce dernier peut trouver les ressources ayant les compétences nécessaires pour réaliser les tâches de soin, détermine la date de début d'exécution de ces tâches sous forme d'un Gantt et en fin orchestrer dynamiquement le Workflow qui traduit ce Gantt.

Les Workflows de soins sont souvent constituées de multiples tâches qui font usage de plusieurs services, ainsi en ré/orchestration, les tâches de Workflow en utilisant les informations recueillies des modèles de files d'attente de ces services nous pouvons maîtriser le temps d'attente dans les différents services.

L'idée d'orchestrer le Workflow en se basant sur un agent ordonnanceur, nous permet d'identifier le niveau de flux de travail qui est le noyau de comportement des agents humains et informatiques, ainsi ces flux doivent refléter le résultat de l'orchestration dynamique.

Afin de mieux expliquer le fonctionnement interne de notre orchestration dynamique qui oriente en temps réel le flux patient, l'Agent Ordonnanceur « AO » propose une solution sous forme de Gantt afin d'accorder l'orchestration du Workflow tout en montrant sa réalisation sur le terrain.

Pour comprendre comment notre approche d'orchestration fonctionne, nous présentons un scénario détaillé issu de la base de données réelle du SUP. Ce scénario est composé de trois patients ayant plusieurs tâches de soins à compétences multiples.



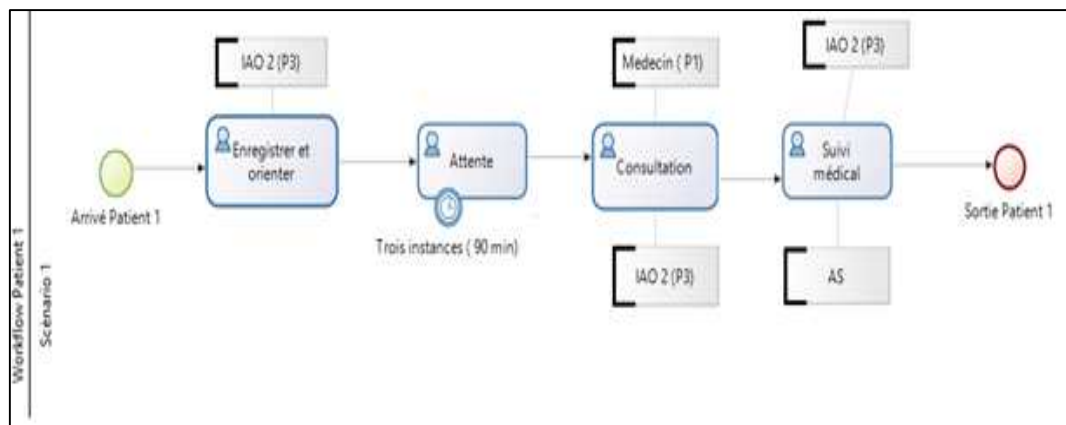
**Figure.V.27 :** Diagramme de Gantt par l'AO

Une fois que notre agent ordonnanceur nous a proposé un diagramme de Gantt, une orchestration de Workflow va être mise en œuvre pour garantir la circulation en temps réel des flux et l'affectation des personnels aux tâches de soin concernés.

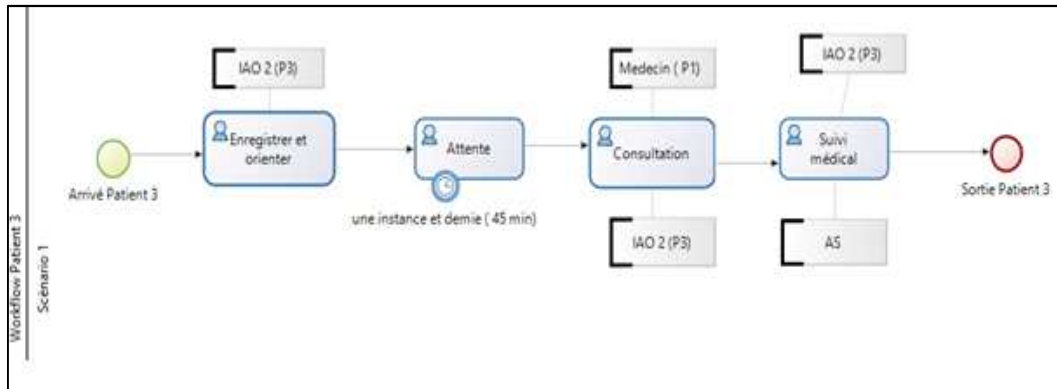
Le Workflow orchestré est le suivant :

D'après le Gantt ci-dessus, la pathologie du patient (1) nécessite deux compétences le médecin (P1) et (IAO.1) alors que celle de patient 2 nécessite également deux compétences (P1) et (IAO.2) pendant des périodes différentes.

Les deux workflow suivants modélisent les parcours respectifs aux Patients 1 et 3 qui sont orchestrés et contrôlés par l'AO.

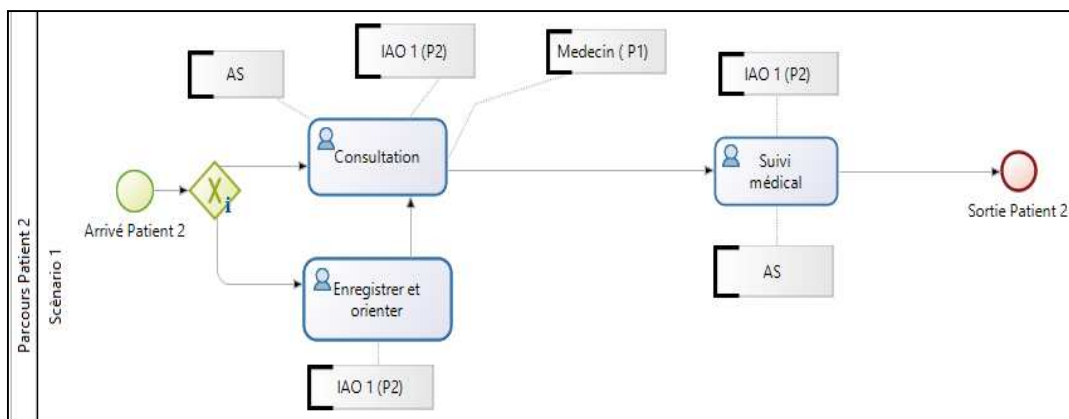


**Figure.V.28 :** Workflow Patient (1)



**Figure.V.29 : Workflow Patient (3)**

Le patient 2 présente un cas d'urgence par rapport aux deux autres patients au SUP. L'AO a pris en compte cette situation et orchestre dynamiquement son workflow (Figure.V.30) afin d'éviter le temps d'attente pendant sa prise en charge.



**Figure.V.30 : Workflow Patient (2)**

#### V.4.2 Analyse des résultats d'orchestration et ré-orchestration

La mesure de performance utilisée pour évaluer notre approche d'orchestration et réorchestration est la réduction des temps d'attente des patients en utilisant un Workflow **dynamique** (c'est-à-dire que l'ordre des tâches peut changer tout au long de l'exécution) par rapport à un Workflow **fixe** (c'est-à-dire que l'ordre des tâches reste inchangé tout au long de l'exécution).

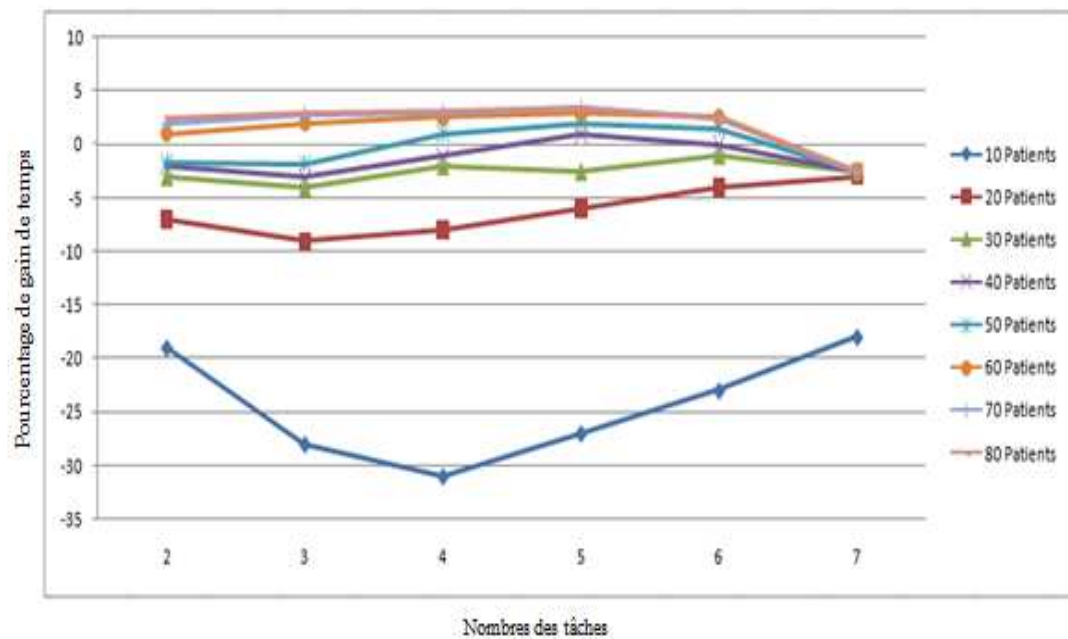
A partir de la mesure de performance de la section IV.5.2 du chapitre 4, les temps d'attente pour chaque type du Workflow seront calculés en prenant le temps d'attente total moyen de tous les patients dans la simulation, puis la moyenne de 200 essais.

Le gain de temps d'attente moyen est calculé « GTA » sous forme de pourcentage. Les pourcentages négatifs montrent une réduction du temps d'attente pour le cas de Workflow dynamique, par contre le pourcentage positif correspond à une augmentation du temps d'attente dans le cas de Workflow dynamique par rapport Workflow fixe. Chaque patient est comparé en utilisant un workflow composé des mêmes services, dans le même ordre, avec les mêmes temps.

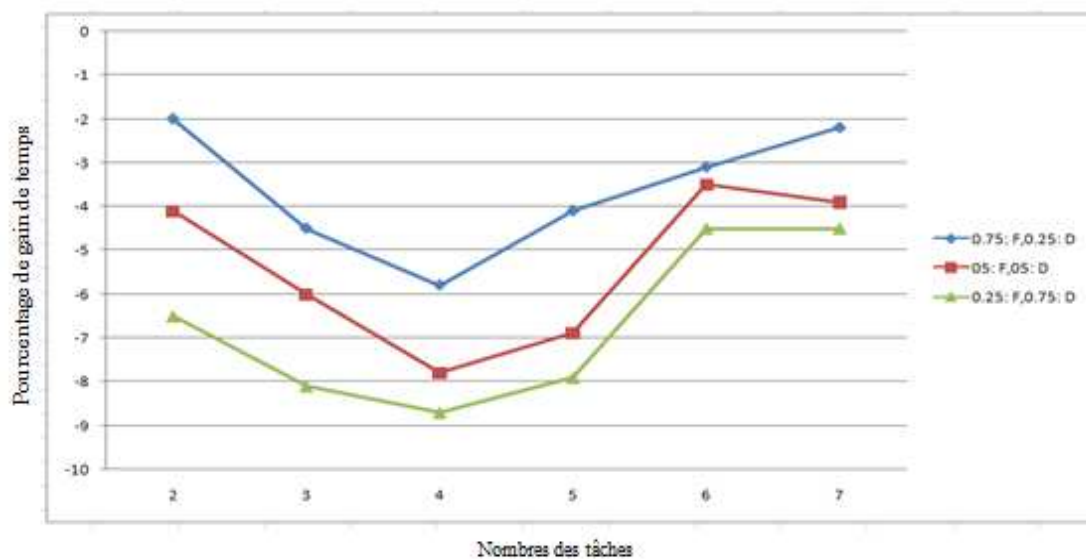
Nous avons effectué un certain nombre d'expériences avec des configurations différentes : un multiple de 10 patients (jusqu'à 80 patients). Les totaux moyens du gain de temps d'attente des patients sont présentés dans la (Figure.V. 31.) en utilisant la base de données « 2011 ». Dans ces expériences, chaque patient a le même nombre de tâches au sein de son Workflow. Nous pouvons constater (simulation du 20 patients) que le GTA varie de -7,0% à -2.9%.

Nous constatons que le GTA est décroissant à partir de la 5<sup>ème</sup> tâche pour une configuration supérieure à 40 patients.

La Figure.V.32 montre les résultats d'une simulation de 20 patients qui ont subi une orchestration par l'AO : dynamique (D) ou fixe (F). La proportion (0,25: F, 0,75 : D) avec 75% des patients ayant subi une orchestration dynamique et les 25% restants ayant subi une orchestration fixe. Nous constatons que plus le pourcentage des patients ayant subi une orchestration dynamique est grand, plus le GTA est élevé.



**Figure.V.31 :** Résultats de simulation à l'aide de BD 2011. Pourcentage moyenne de gain totale de file d'attente par rapport au nombre de tâches avec des différentes tailles des patients.



**Figure.V.32 :** Pourcentage moyen du temps d'attente par rapport au nombre de tâches avec des proportions de patients dynamiques et fixes pour 20 patients.

Nous avons réalisé les mêmes scénarios de simulations en utilisant les bases de données 2012 et 2013 (voir annexe n°2).

## **V.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons montré le fonctionnement de notre approche de résolution adoptée pour le SUP. A partir des données réelles, nous avons effectué des simulations et des scénarios d'exécution pour l'AO afin d'évaluer la performance de la solution proposée. Les résultats des scénarios des simulations montrent la robustesse de notre système ainsi que le rôle de l'architecture à trois couches dans l'amélioration des capacités potentielles de l'AO à aider en temps réel les décideurs.

# Conclusion Générale et Perspectives

La logistique dans le domaine de la santé est un secteur en pleine ascension qui vise à déployer efficacement les moyens techniques et informatiques pour optimiser la gestion du temps, limiter les risques d'erreurs et anticiper la tension dans un domaine où le facteur humain est fortement présent. L'état de tension au sein des établissements de santé peut être décrit par des indicateurs liés à des facteurs internes tels que l'augmentation du nombre de patients ; l'augmentation de la complexité des cas ; le manque de structure de soins en dehors des heures ouvrables ; le manque de lits ; la multiplication des tests diagnostiques, le temps d'attente des patients, etc. Notre terrain d'étude est le Service des Urgences Pédiatriques (SUP) dans lequel le parcours patient est un processus complexe et chronophage. La plus grande source de retard est le temps d'attente qui représente 70% du temps total passé aux urgences. Les causes directes de ce temps d'attente sont les goulets d'étranglements qui perturbent la circulation normale des flux au sein du processus causant la tension.

Les objectifs principaux de cette thèse est d'une part, modéliser le plus fidèlement possible à la réalité le parcours patients afin d'identifier les dysfonctionnements qui contribuent à l'apparition de ces goulets d'étranglements au sein du SUP et d'autre part, cibler les éléments à optimiser au sein du processus de prise en charge. Ces travaux de recherche s'intègrent dans le cadre du projet ANR HOST (2012-2015): « Hôpital : Optimisation, Simulation et évitement des Tensions » dans son programme : *Technologie pour la santé et l'autonomie (TecSan) 2011*.

Pour atteindre ces objectifs, la première étape est de créer un modèle précis et complet du parcours patient au SUP afin d'identifier les pics d'activité. Nous nous sommes donc basés sur l'expérience des médecins urgentistes partenaires du projet HOST ainsi que sur les données recueillies (entre 2011 et 2013) pendant les visites réalisées au SUP du Centre Hospitalier Universitaire Régional (CHRU) de Lille. Pour modéliser ce parcours, nous avons opté pour une approche orientée processus en choisissant le Workflow qui permet de représenter et de simuler les processus métiers. Les modèles globaux du parcours patient au SUP du CHR de Lille sont présentés dans le chapitre 3. Nous avons identifié 3 étapes principales du parcours : 1) l'arrivée et l'accueil du patient ainsi

qu'une première estimation de son état 2) sa prise en charge, son orientation et réorientation si nécessaire et enfin 3) le choix de sa destination. Le modèle intègre 3 sous-processus : 1) les soins externes, 2) l'urgence vitale et 3) l'Unité d'Hospitalisation de Courte Durée (UHCD).

Le modèle conçu du parcours patient au SUP du CHRU de Lille a été mis en œuvre grâce au moteur intégré de l'outil de gestion de Workflow adopté (BonitaSoft). Au cours de cette mise en œuvre, le Workflow permet aux acteurs humains, d'interagir au bon moment en lecture et en écriture avec le système grâce à des interfaces graphiques. En lecture : afin de bénéficier de la bonne information au bon moment pour réaliser les tâches de soins en cours et en écriture : pour alimenter ponctuellement le système d'informations nécessaires pour son bon déroulement.

Pour fluidifier la circulation des flux patients dans le SUP, nous avons proposé dans le chapitre 4 une architecture de résolution à base d'agents qui caractérise les comportements des patients dans le SUP. Nous avons également détaillé le comportement optimisateur de l'agent ordonnanceur (AO). En effet nous avons implémenté dans le cœur de l'AO un algorithme génétique capable de proposer un ordonnancement des patients qui minimise le temps d'attente global moyen (TAGM). Dans le chapitre 5, l'AO change de rôle pour orchestrer dynamiquement le workflow modélisant le parcours patient. Nous avons simulé et testé plusieurs scénarii dans le but d'étudier l'orchestration dynamique des modèles workflow afin de réduire les temps d'attente en cours d'exécution. Dans la fin du chapitre 5, nous avons comparé l'apport de l'orchestration dynamique par rapport à l'orchestration statique au profit de la réduction des temps d'attente.

Cette thèse présente plusieurs perspectives scientifiques et techniques :

- Concevoir, optimiser et mettre en œuvre un système d'aide à la décision permettant d'anticiper l'intronisation de la tension au sein d'un établissement de santé. Ce système d'aide à la décision doit tenir compte des nouveaux besoins en gestion des flux patients issus des évolutions technologiques, environnementales, socio-économiques, mondiales et nationales : essayer d'anticiper la crise et les situations exceptionnelles et d'équilibrer au mieux les

flux patients ainsi que le personnel de soin et les ressources matérielles tout au long de la chaîne logistique hospitalière.

- Etudier et développer d'une part, des méthodes de dimensionnement et de configuration et d'autre part, des problèmes de pilotage prévisionnel et réactif permettant d'anticiper l'intronisation de la tension au sein d'un établissement de santé. La difficulté est liée au grand nombre de scénarii à prendre en compte (incertitudes quant à la nature et au volume de l'activité) et surtout du nombre important de critères devant être optimisés (temps d'attente, risques patients, qualité des soins, confort du personnel, coûts économiques, etc.).
- Etablir au niveau humain des définitions et des objectifs stratégiques. Les acteurs doivent concilier les cibles qualitatives et économiques en termes de soins (patients, tutelles, assureurs, ...) et les intérêts individuels des acteurs (médecins généralistes, infirmiers libéraux, sécurité civile, hôpitaux publics, cliniques privées, ...). L'idée est de proposer un ensemble d'informations métiers commun à la communauté des acteurs : le dossier patient, pivot de la bonne marche d'un réseau de soins et les protocoles de soins.

## Bibliographie

- [AA, 2009] Projet de loi portant réforme de l'hôpital et relatif aux patients, à la santé et aux territoires. Assemblée Nationale. 11 mars 2009.
- [CC, 2007] Cours des comptes, Les urgences médicales, constats et évolution récente, rapport public annuel--08 février 2007, pp. 313-340.
- [COL, 2007] Colombier G. (2007), La prise en charge des urgences. Rapport d'information - Assemblée Nationale. Février 2007, 575 pages.
- [COU, 2003] Couanau R., L'organisation interne des hôpitaux. Rapport d'information - Assemblée Nationale. Mars 2003, 75 pages.
- [DREES, 2013] DREES 2013 : Le panorama des établissements de santé édition 2013, chapitre 1 les urgences hospitalières
- [LAR, 2008] Rapport de la commission de concertation sur les missions de l'hôpital, présidée par M. Gérard Larcher. Avril 2008.
- [LEG, 2009] Legrand J.M. Rapport portant réforme de l'hôpital et relatif aux patients, à la santé et aux territoires. Rapport N° 1441, Assemblée Nationale. 5 février 2009.
- [MEAH, 2006] Gestion et organisation des blocs opératoires dans les hôpitaux et cliniques. Rapport final. MEAH. Septembre 2006.
- [MOL, 2005] Molinier E., L'hôpital public en France: bilan et perspective. Etude du Conseil Economique et Social. 2005.
- [NHSIII, 2007] NHSIII. (2007). Going lean in the NHS. Warwick: NHS Institute for Innovation and Improvement.
- [SFAR, 2004] 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. intrahospitalières. Conférence d'experts, 2004.
- [SFMU, 2008a] Société Française de Médecine d'Urgence Référentiel. Compétences Infirmier(e) en médecine d'urgence, juin 2008.
- [SFMU, 2008b] Société Française de Médecine d'Urgence .Les français et l'accès aux soins urgents non programmés. 2ème Congrès de la SFMU, Paris, juin 2008.
- [SUF, 2012] Samu-Urgences de France (2012), Comment garantir l'accès à des soins médicaux de qualité en urgence? Les premières Assises de l'Urgence. Paris le 13 septembre 2012, rapport final, 55 pages.
- [VAL, 2009] Vallancien G. Rapport "Réflexions et propositions sur la gouvernance hospitalière et le poste de président du directoire. 10 Juillet 2008.
- [VNORD, 2007] L'état de santé dans le Nord - Pas de Calais". Dossier La Voix du Nord. Mars 2007.
- Ahmed M. A. et Alkhamis T. M. (2009) Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait, European Journal of Operational Research, 198 (3), pp.936-942.
- Allder Steven, Silvester Kate et Walley Paul (2010) Managing capacity and demand across the patient journey, Clinical Medicine, 10 (1), pp. 13-15.
- Alvin P. et Marcelli D. (2005) *Médecine de l'adolescent*, 2<sup>ème</sup> édition Masson, 453 pages.
- Anagnostou Anastasia, Nouman Athar et Taylor Simon J. E. (2013) Distributed hybrid agent-based discrete event emergency medical services simulation,

Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference: Simulation: Making Decisions in a Complex World, pp. 1625-1636.

- Anderson J.G. (2007) Social, ethical and legal barriers to E-health, *International Journal of Medical Informatics*, 76(5-6), pp. 480-483.
- ANDRE Virginie et FENIES Pierre (2007) Modélisation et simulation des flux logistiques du Nouvel Hôpital d'Estaing, *Revue Logistique & Management*, 15 (1), pp.49-59.
- Apete Geoffroy Kokou Optimisation médico-économique et organisation des services d'urgences hospitalières : apport des systèmes multi-agents, thèse de Doctorat en Economie de la santé, Université de Lille 2, 217 pages.
- Armengaud Didier (2002), Le quiproquo des urgences pédiatriques, *Enfances & Psy*, 2 (18), pp. 10-16.
- Arthur, J.L., Ravindran, A., 1981. Multiple objective nurse scheduling, *AIIE Transactions*, 13 (1), pp.55-60.
- Asplin, B., D. Magid, K. Rhodes, L. Solberg, N. Lurie, and C. Camargo. (2003) A conceptual model of emergency department crowding. *Annals of Emergency Medicine* 42(2), pp.173-180.
- Aubert Nicole (2003), *Le culte de l'urgence : La société malade du temps*, Flammarion, 384 pages.
- Augusto Vincent (2008) Modélisation, analyse et pilotage de flux en milieu hospitalier à l'aide d'UML et des réseaux de Pétri, thèse de Doctorat en Génie Industriel, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 205 pages.
- Azadeh Ali, Rouhollah Fatemeh, Davoudpour Fatemeh, Mohammadfam Iraj (2013) Fuzzy modelling and simulation of an emergency department for improvement of nursing schedules with noisy and uncertain inputs, *International Journal of Services and Operations Management*, 15(1), pp. 58-77.
- Bard, J.F., Purnomo, H.W., 2007. Cyclic preference scheduling of nurses using a Lagrangian-based heuristic, *Journal of Scheduling*, 10, pp. 5-23.
- Baubeau D., Deville A., et Joubert M. (2000), « Les passages aux urgences de 1990 à 1998 : une demande croissante de soins non programmés », *Études et résultats* N° 72.
- Beliën Jeroen (2006) Exact and Heuristic Methodologies for Scheduling in Hospitals: Problems, Formulations and Algorithms. PhD Thesis, Faculty of Business and Economics, Katholieke Universiteit Leuven, 279 pages.
- Bellou A, J.-D de Korwin, Bouget J et al. (2003) Place des services d'urgences dans la régulation des hospitalisations publiques, *La Revue de Médecine Interne*, 24(9), pp. 602-612.
- Benanteur Y., Rollinger R., Saillour J.-L. (2000) *L'organisation logistique et technique à l'hôpital*, Éditions ENSP, 185p
- Benjamin C. Sun, MD, MPP, Renee Y. Hsia, MD, Robert E. Weiss et al. (2013), Effect of Emergency Department Crowding on Outcomes of Admitted Patients, *Annals of Emergency Medicine*, 61 (6), pp.605-611.
- Benoit A., Dobrilaa Alexandru, Nicoda J-M. et Philippea L. (2011) Mapping workflow applications with types on heterogeneous specialized platforms, *Parallel Computing*, 37 (8), pp. 410-427.
- Bjorkgren M.A., Hakkinen U., Linna M., (2001) Measuring efficiency of long-term care units in Finland, *Health Care Management Science*, 4 (3), pp. 193-200.

- Blöchliger, I., (2004) Modeling staff scheduling problems. A tutorial, *European Journal of Operational Research*, 158, pp.533-542.
- Boaden, R., Proudlove, N. C. et Wilson, M. (1999). An exploratory study of bed management. *Journal of Management in Medicine*, 13(4-5), pp. 234-250.
- Boisguérin Bénédicte et Valdelièvre Hélène (2014), "Urgences : la moitié des patients restent moins de deux heures, hormis ceux maintenus en observation", *Études et résultats*, DREES, n° 889, juillet.
- Bonabeau, E. (2002) Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, pp. 7280-7287.
- Brailsford S.C., Lattimer V.A., Tamaras P., Turnbull J. C. (2004) Emergency and on-demand health care: Modeling a large complex system, *Journal of Operational Research Society*, 55(1), pp. 34-42.
- Brandao de Souza, L. (2009) Trends and approaches in lean healthcare, *Leadership in Health Services*, 22(2), pp.121-139.
- Bréant Karine (2013) Analyse du recours au service des urgences pédiatriques du Havre par les médecins généralistes, Thèse de Doctorat en Médecine, Faculté mixte de Médecine et de Pharmacie de Rouen, 75 pages.
- Burke D.E. et Menachemi N. (2004), « Opening the Black Box: Measuring Hospital Information Technology Capability », *Health care management review*, 29(3), pp.210-217.
- Cabrera E., Taboada M., Iglesias M.L., F. Epelde, et E. Luque (2012). Simulation Optimization for Healthcare Emergency Departments, *Procedia Computer Science* (4), pp.1870-1879.
- Cadron A. (2000) *Conscience artificielle et systèmes adaptatifs*. Edition Eyrolles, 384 pages.
- Carrasco V, Baubeau D. (2003) Les usagers des urgences. Premiers résultats d'une enquête nationale. *DREES Etudes Résultats*, 212, pp.1-8.
- Carter Eileen J. RN, BSN, Stephanie M. Pouch MD et Elaine L. Larson (2014), The Relationship Between Emergency Department Crowding and Patient Outcomes: A Systematic Review, *Journal of Nursing Scholarship*, 46 (2), pp. 106-115.
- Caux C., Pierreval H. et Portmann M.C. (1994) Les algorithmes génétiques et leurs applications aux problèmes d'ordonnancement, Actes des journées d'étude : Ordonnancement et entreprise, applications concrètes et outils pour le futur, 16 et 17 juin 1994, Toulouse, France, pp.5-45.
- Chaabane Sondes (2004), Gestion prédictive des Blocs Opératoires, thèse de Doctorat en Informatique, l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 204 pages.
- Chan Chien-Lung, Huang Hsin-Tsung et You Huey-Jen (2012) Intelligence modeling for coping strategies to reduce emergency department overcrowding in hospitals, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23 (6), pp. 2307-2318.
- Chavet Julie et Gourgand Michel (2008) Modélisation et analyse du service des urgences : Etat de l'art, 4ème conférence francophone Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, GISEH08, Lausanne, Suisse.
- Chinosi M. et Trombetta A. (2012) BPMN: An introduction to the standard, *Journal Computer Standards & Interface*, 34 (1), pp. 124-134.
- Chinosi M. et Trombetta A. (2012) BPMN: An introduction to the standard, *Journal of Computer Standards & Interfaces*, 34(1), pp.124-134.

- Cieslik M, Legendre M, de Decker L. et BerruT G. (2013) Bed-manager ou coordonnateur de parcours de soins, Geriatric Psychology Neuropsychiatry du Vieillissement, 11(4), pp. 337-338.
- Conforti,D., F. Guerriero, et R. Guido, (2008) Optimization models for radiotherapy patient scheduling, A Quarterly Journal of Operations Research, 6, pp. 263-278.
- Cooke M, Fisher J, Dale J, McLeod E, Szczepura A, Walley P. et Wilson S. (2004) Reducing Attendances and Waits in Emergency Departments. A systematic review of present innovations, Report to the National Co-ordinating Centre for NHS Service Delivery and Organisation R & D (NCCSDO), 252 pages. <http://www.sdo.nihr.ac.uk/files/project/29-finalreport.pdf>
- Côté M.J. (1999) Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic, Socio-economic Planning Sciences, 33 (3), pp. 231-245.
- Courtois, T. (1996) Workflow: la gestion globale des processus de l'entreprise. Logiciels & Systèmes, 11, pp.46-50.
- Daknou A. (2011) Architecture distribuée à base d'agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d'urgences en milieu hospitalier. Thèse de Doctorat, LAGIS Ecole centrale de Lille, 205 pages.
- Deelman E., Gannon D., Shields M., Taylor I. (2009) Workflows and e-Science: An overview of workflow system features and capabilities, Future Generation Computer Systems, 25 (5), pp. 528-540.
- DerleR. W. t et Richards J. R. (2000) Overcrowding in the nation's emergency departments: complex causes and disturbing effects, Annals of Emergency Medicine, 35 (1), pp. 63-68.
- Devictor D., Cosquer M. et Saint-Martin J. (1997) L'accueil des enfants aux urgences: résultats de deux enquêtes nationales, Archives de Pédiatrie, 4 (1), pp.21-26.
- Di Lin, Fabrice Labeau, Xidong Zhang, GuiXia Kang (2012) Scheduling medical tests: a solution to the problem of overcrowding in a hospital emergency department, IEEE 14th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom), pp. 100-104.
- Dotoli M, Fanti M.P., G Iacobellis, Martino L, Moretti AM, Ukovich W. (2010) Modeling and management of a hospital department via petri nets, Health Care Management (WHCM), IEEE Workshop on, pp. 1-6.
- Drogoul, A. (2000). Systèmes multi-agents situés. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Paris 6, 133 pages.
- Duckwoong Lee, Hayong Shin, Byoung K. Choi (2010) Mediator approach to direct workflow simulation, Simulation Modelling Practice and Theory, 18 (5), pp.650-662.
- Eduardo Cabrera, Manel Taboada, Ma Luisa Iglesias, Francisco Epelde, Emilio Luque (2012) Simulation Optimization for Healthcare Emergency Departments, Proceedings of the International Conference on Computational Science, ICCS 2012, 9, pp. 1464-1473.
- Ellbrant Julia, Jonas Åkeson, Pia et Karlsland Åkeson (2015) Pediatric Emergency Department Management Benefits From Appropriate Early Redirection of Non-urgent Visits, Pediatric Emergency Care, 31(2), pp. 95-100.

- Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy, M., Sier, D., 2004. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models, *European Journal of Operational Research*, 153, pp. 3-27.
- Escudero-Marin Paula et Pidd Michael (2011) Using ABLS to Simulate Emergency Departments, Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference S. Jain, R.R. Creasey, J. Himmelspach, K.P. White, and M. Fu, eds.
- Essen van J.T., Hans E.W., Hurink J.I. et Oversberg A. (2012) Minimizing the waiting time for emergency surgery, *Operations Research for Health Care*, 1 (2/3), pp.34-44.
- Fabbe-Costes, N. et Romeyer, C. (2004), « La traçabilité des activités de soins par les SIH : état des lieux », *Logistique et Management*, Numéro spécial 2004 "Logistique hospitalière", p.119-133.
- Fee C, Weber EJ. (2007) Identification of 90% of patients ultimately diagnosed with community-acquired pneumonia within four hours of emergency department arrival may not be feasible, *Annals of Emergency Medicine*, 49(5), p. 553-559.
- Feki, M. F. (2010) *Optimisation distribuée pour la recherche des itinéraires multi-opérateurs dans un réseau de transport co-modal*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lille.
- Ferber J. (1995) les systèmes Multi-agent vers une intelligence collective, Inter Edition, 499 pages.
- Ferreira de Oliveira M.J. (1999), 3D Visual simulation platform for the project of a new hospital facility, in: V. De Angelis, N. Ricciardi, G., Storchi (Eds.), Monitoring, Evaluating, Planning Health Services. Proceedings of the 24th meeting of the ORAHS EURO-WG, World Scientific, Singapore, 1999, pp. 82-95.
- Flessa S. (2000) Where efficiency saves lives: a linear programme for the optimal allocation of health care resources in developing countries, *Health Care Management Science*, 3 (3), pp.249-267.
- Fone D., Hollinghurst S., Temple M., Round A., Lester N., Weightman A., Roberts K., E. Coyle, Bevan G., et Palmer S.(2003) Systematic review of the use and value of computer simulation modeling in population health and health care delivery, *Journal of Public Health*, 25(4), pp. 325-335.
- Fraser, A.S.(1957) Simulation of genetic systems by automatic digital computers. Australian *Journal of Biological Sciences*, 10, pp. 484-491.
- Fu M. C. (2002) Feature article: Optimization for simulation: Theory vs. practice, *INFORMS Journal on Computing*, 14 (3), pp.192-215.
- Galvis-Narinos F. et Montélimard A. (2009) Le système de santé des États-Unis, *Pratiques et Organisation des Soins*, 40 (4), octobre-décembre, pp.309-315.
- Garrido M., Kristensen F., Palmhøj, Nielsen C. et Busse R. (2008) Health technology assessment and health policy-making in Europe : Current status, challenges and potential, The European Observatory on Health Systems and Policies, Observatory Studies Series No 14, 181 pages.
- Gentil, Stéphanie. (2012) « Les agencements organisationnels des situations perturbées : la coordination d'un bloc opératoire à la pointe de la rationalisation industrielle ». La santé à l'épreuve des reconfigurations organisationnelles et communicationnelles : enjeux, défis et perspectives, 80e congrès de l'ACFAS, Montréal, Québec, 7 et 8 mai , pp.72-86.

- Glaa Bisma (2008) Contribution à la conception et l'optimisation d'un système d'aide à la gestion des urgences, thèse de Doctorat en Automatique et Informatique Industrielle, Ecole Centrale de Lille, 225 pages.
- Glover, F. (1986). Future paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence. *Computers and Operations Research*, 5, pp. 533-549.
- Goldberg D.E., (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimisation and machine learning*, Addison-Wesley, 1989, 412 pages.
- Gourgand M., Mebrek F., et Tanguy A. (2005) «Hospital logistic modelling and simulation case study: brancardage», ESM05, Porto, Portugal, pp.24-26.
- Gourgand M., Mebrek F., et Tanguy A. (2006) «Modélisation et simulation de la zone de transit d'un nouvel hôpital», GISEH 2006, Luxembourg.
- Guinet A., Marcon E. et Tahon C. (2008) Gestion et performance des systèmes hospitaliers. Hermès, janvier 2008.
- Günal M. M. et Pidd M. (2010) Discrete event simulation for performance modelling in health care: a review of the literature, *Journal of Simulation*, 4, pp. 42-51.
- Guzman Castillo, M. (2012) Modelling patient length of stay in public hospitals in Mexico. University of Southampton, School of Management, Doctoral Thesis, 318 pages.
- Hedges P., Bellou A., Grandhay J-P. et Bayad M. (2003) «Modélisation de la prise en charge des patients du service des urgences», 1<sup>ère</sup> conférence francophone en Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH), Lyon.
- Hancock Walton M. et Walter Paul F. (1979) The use of computer simulation to develop hospital systems, *ACM SIGSIM Simulation Digest*, 10 (4), pp. 28-32.
- Hans E.W., Wullink G., van Houdenhoven M., Kazemier G. (2008), Robust surgery loading, *European Journal on Operational Research*, 185 (3), pp.1038-1050.
- Higginson, Ian (2012) Emergency department crowding, *Emergency Medicine Journal*, 29(6) pp. 437-443.
- Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production, *Journal of Operations Management*, 25, pp.420-437.
- Hoot NR, Aronsky D. (2008) Systematic Review of Emergency Department Crowding: Causes, Effects and Solutions, *Annals Emergency Medicine*, 52(2), pp.126-36.
- Hue V, Dubos F, Pruvost I, Martinot A, (2011) Organisation et moyens des urgences pédiatriques : enquête nationale française en 2008. Archives Pédiatriques, 18, pp. 42-48.
- Hutzschenreuter A. K., Bosman P. A. N., Blonk-Altena I., J. van Aarle, H. La Poutre (2008) Agent-based patient admission scheduling in hospitals, in: AAMAS '08, *Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems, International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Richland, SC, 2008, pp. 45-52.
- Indranil R. Bardhan, Mark F. Thouin (2013), Health information technology and its impact on the quality and cost of healthcare delivery, *Decision Support Systems*, 55 (2), pp. 438-449.
- Jacobson S.H., Sewell E.C., Deuson E., Weniger B.G. (1999) An integer programming model for vaccine procurement and delivery for childhood immunization: A pilot study, *Health Care Management Science*, 2 (1), pp.1-9.

- Jaumard B., Semet, F., Vovor, T. (1998) A generalised linear programming model for nurse scheduling *European Journal of Operational Research*, 107, pp. 1-18.
- Jennings N., K. Sycara et M. Wooldridge (1998) A roadmap of agent research and development, *Autonomous Agent and Multi-Agent Systems*, 1(1), pp.7-38.
- Jun, J.B., Jacobson S.H., et Swisher JR (1999) "Application of discrete-event simulation in health care clinics: A survey, *The Journal of the Operational Research Society*, 50 (2), pp.109-123.
- Kaddoussi Aida (2012) *Optimisation des flux logistiques: vers une gestion avancée de la situation de crise*, thèse de Doctorat en Automatique, Génie Informatique, Traitement du Signal et Image, Ecole Centrale de Lille, 200 pages.
- Kadri Farid, CHAABANE Sondès, Tahon Christian (2013), Service d'urgences hospitalières : situations de tension et résilience. *Journées Doctorales et Journées Nationales du GDR MACS (JD-JN-MACS)*, Juillet, 2013, France. pp.1-8.
- Kadri Farid, Harrou Fouzi, Chaabane Sondès, Tahon Christian (2014), Time Series Modelling and Forecasting of Emergency Department Overcrowding, *Journal of Medical Systems*, 38 (9), pp. 1-20.
- Kadri Farid, Pach Cyrille, Chaabane Sondès, Berger Thierry, Trentesaux Damien, Tahon Christian, Sallez Yves (2013) Modelling and management of strain situations in hospital systems using an ORCA approach, the 5th IESM Conference, October 2013, Rabat, Morocco, 10 pages. .
- Kammoun, M. A. (2007) *Conception d'un système d'information pour l'aide au déplacement multimodal : Une approche multi-agents pour la recherche et la composition des itinéraires en ligne*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lille, 182 pages.
- Kanagarajah, A.K., P.A. Lindsay, A.M. Miller, and D.W. Parker (2008) "An exploration into the uses of agent-based modeling to improve quality of health care" Chapter 2 in Unifying Themes in Complex Systems, Volume VI, *Proceedings of the Sixth International Conference on Complex Systems* Edited by Ali Minai, Dan Braha and Yaneer Bar-Yam pp. 471-478.
- Kapamara, T., et al., (2007) A simulation of a radiotherapy treatment system: A case study of a local cancer centre, proceedings of the ORP3 2007 Conference, Guimaraes, Portugal, pp. 29-35
- Kawano T., K. Nishiyama, Anan H., Tujimura Y. (2014) Direct relationship between aging and overcrowding in the ED, and a calculation formula for demand projection: a cross-sectional study, *Emergency Medicine Journal*, 31 (1), pp. 19-23
- Kellermann A. L. (2006). Crisis in the Emergency Department, *New England Journal of Medicine*, 355 (13), pp.1300-1303.
- Komashie A. et Mousavi A. (2005) Modeling emergency departments using Discrete Event Simulation techniques, *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds, pp. 2681- 2685.*
- Kreitchmar, M., Reinking, D. P., Brouwers H., Van Zessen, G., and Jager, J. C. (1994). Network models - from paradigm to mathematical tool, Policy and Prediction. Raven Press Ltd, New York.
- Kubicek Katrina, Deborah Liu, Christy Beaudin, Jocelyn Supan, George Weiss, Yang Lu, Michele D. Kipke (2012), A Profile of Nonurgent Emergency Department Use in an Urban Pediatric Hospital, *Pediatric Emergency Care*, 28 (10), pp.977-984

- Kuljis, J, RJ Paul, and LK Stergioulas. (2007) Can health care benefit from modeling and simulation methods in the same way as business and manufacturing has?" In Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, at Washington, D.C., edited by S. G. Henderson, B. Biller, M.-H. Hsieh, J. Shortle, J. D. Tew and R. R. Barton, pp.1449-1453.
- Labarthe O., Espinasse B., Ferrarini A., Montreuil B.,(2007) *Toward a methodological framework for agent-based modeling and simulation of supply chains in a mass customization context*, Simulation Modeling Practice and Theory, 15, pp.113-136
- Lagergen M. (1998), What is the role and contribution of models to management and research in health services ? European Journal of Operational Research, 105, pp. 257-266.
- Lakshmi C, Sivakumar Appa Iyer (2013), Application of queueing theory in health care: A literature review, Operations Research for Health Care, 2 (1-2), pp.25-39.
- Lynn S. G., A. L. Kellermann (1991), Critical decision making: Managing the emergency department in an over crowded hospital, Annals of Emergency Medicine, 20 (3), pp. 287-292.
- Malhotra Sameer, Desmond Jordan, Edward Shortliffe, Vimla L. Patel (2007) Workflow modeling in critical care: Piecing together your own puzzle, Journal of Biomedical Informatics, 40 (2), pp. 81-92.
- Marion R. Sills, Diane Fairclough, Daksha Ranade, Michael G. Kahn (2011), Emergency Department Crowding Is Associated With Decreased Quality of Care for Children, Pediatric Emergency Care, 27 (9), pp. 837-845.
- Marquardt, W., et Nagl, M. (2004). Workflow and information centered support of design processes-The IMPROVE perspective, Computers and Chemical Engineering, 29, pp. 65-82.
- Martin, Mary ; Champion, Robert. ; Kinsman, Leigh ; Masman, Kevin (2011) Mapping patient flow in a regional Australian emergency department: A model driven approach, International Emergency Nursing, 19(2), pp. 75-85.
- Mazier Alexandre (2010) Optimisation Stochastique pour la gestion des lits d'hospitalisation sous incertitudes, thèse de Doctorat en Génie Industriel, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 179, pages.
- McKee Martin and Healy Judith (2002), Hospitals in a changing Europe, Open University Press, Martin McKee and Judith Healy (eds.), 314 pages.
- McNulty, T. et Ferlie, E. (2002) Reengineering health care: The complexities of organisational transformation, International Public Management Journal, 7(1), pp. 133-137.
- Mebrek Fateh (2008) Outils d'aide à la décision basés sur la simulation pour la logistique hospitalière, application à un nouvel hôpital, Thèse de doctorat en Informatique, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 196p.
- Medeiros D. J., Swenson Eric et DeFlitch Christopher (2008) Improving patient flow in a hospital emergency department, WSC '08 Proceedings of the 40th Conference on Winter Simulation, pp. 1526-1531.
- Meli Christopher L., Khalil Ibrahim, Tari Zahir (2014) : Load-sensitive dynamic workflow re-orchestration and optimisation for faster patient healthcare, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 113(1), pp. 1-14.

- Mesghouni K.(1999) "Application des algorithmes évolutionnistes dans les problèmes d'optimisation en ordonnancement de la production", Thèse de doctorat à l'université des sciences et technologies de Lille.
- Millar H. H., Kiragu, M. (1998) Cyclic and non-cyclic scheduling of 12 h shift nurses by network programming, *European Journal of Operational Research*, 104, pp. 582-592
- Millar, H.H., Kiragu, M.(1998) Cyclic and non-cyclic scheduling of 12 h shift nurses by network programming, *European Journal of Operational Research*, 104, pp.582-592.
- Minvielle E.(1996) L'organisation du travail à l'hôpital, Gérer la singularité à grande échelle. *Revue française de gestion*, 109 (juin-juillet-août), pp. 114-124.
- Minvielle Etienne (1998), Gérer la singularité à grande échelle : Le cas des patients hospitalisés, *Gestion Hospitalière*, n° 373, pp.129-145.
- Moskop J.C., Sklar D.P., Geiderman J.M., et al.(2009) Emergency department crowding, part -1-concept, causes, and moral consequences, *Annals Emergency Medicine*, 53, pp. 605-611.
- Musa, A.A., Saxena, U., 1984. Scheduling nurses using goal-programming techniques, *IIE Transactions*, 16 (3), pp. 216-221.
- Nathan L. Timm MD, Mona L. Ho MS and Joseph W. Luria MD (2008) Pediatric Emergency Department Overcrowding and Impact on Patient Flow Outcomes, Issue, *Academic Emergency Medicine*, 15 (9), pp. 832-837.
- Norling, E., L. Sonenberg, and R. Rönquist. (2001) "Enhancing multi-agent based simulation with human-like decision making strategies" Lecture Note Lecture Notes in Computer Science, 1979, pp 214-228.
- Patrick J., Puterman M.L., Queyranne M. (2008) Dynamic multipriority patient scheduling for a diagnostic resource, *Operations Research*, 56 (6), pp. 1507-1525.
- Paulussen, T.O., A. Zöller, A. Heinzl, L. Braubach, A. Pokahr, and W. Lamersdorf. "Patient scheduling under uncertainty" Proceedings of the 2004 ACM symposium on Applied computing, pp.309-310.
- Persona A. , Battini D, Rafele C, (2008), Hospital Efficiency Management: the Just In Time And Kanban Technique, *International Journal of healthcare technology and management*, 9 (4), pp.373-391.
- Petrovic,S., W. Leung, X. Song, and S. Sundar, (2006) Algorithms for radiotherapy treatment booking, Proceedings of the 25th Workshop of the UK Planning and Scheduling Special Interest Group (Plan-SIG2006), 14-15<sup>th</sup>, Nottingham, December UK, pp. 105-112.
- Pham M.C. (2002) 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, 152 pages.
- Pines JM, Hilton JA, Weber EJ, Alkemade AJ, Al Shabanah H, Anderson PD, Bernhard M, Bertini A, Gries A, Ferrandiz S, Kumar VA, Harjola VP, Hogan B, Madsen B, Mason S, Ohlén G, Rainer T, Rathlev N, Revue E, Richardson D, Sattarian M, Schull MJ (2011), International perspectives on emergency department crowding *Academic Emergency Medicine*, 18(12), pp.1358-1370.
- Pines JM, Localio AR, Hollander JE, Baxt WG, Lee H, Phillips C, Metlay JP. (2007) The impact of emergency department crowding measures on time to antibiotics for patients with community-acquired pneumonia. *Annals of Emergency Medicine*, 50(5), pp.510-516

- Pollitt, C. (1993). The struggle for quality: the case of the National Health Service. *Policy and Politics*, 21(3), pp. 161-170
- Polton Dominique (2012) Les systèmes de santé occidentaux et leurs évolutions, Cahiers français, n° 369, La Documentation française. juillet-août, 15 pages.
- Proudlove N.C., Boaden R., (2005) "Using operational information and information systems to improve in-patient flow in hospitals", *Journal of Health Organization and Management*, 19 (6), pp.466-477.
- Radnor Zoe J., Holweg Matthias, Waring Justin (2011) Lean in healthcare: The unfulfilled promise? *Social Science & Medicine*, xxx, pp. 1-8.
- Radnor, Z. J., & Boaden, R. (2008). Lean in public services e Panacea or Paradox?, *Public Money and Management*, 28(1), pp. 3-7.
- Radnor, Z. J., et Boaden, R. (2008). Lean in public services e Panacea or Paradox? *Public Money and Management*, 28(1), pp. 3-7.
- Rais Abdur et Viana Ana (2011) Operations Research in Healthcare: a survey, *International Transactions in Operational Research*, 18 (1), pp. 1-31.
- Rao, A. S. et Georgeff, M. (1995). BDI Agents : from theory to practice. *In the Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems* (ICMAS-95). pp. 312-319.
- Reid Proctor P., W. Dale Compton, Jerome H. Grossman, and Gary Fanjiang, Building a Better Delivery System: A New Engineering/Health Care Partnership, Editors, Committee on Engineering and the Health Care System, Institute of Medicine and National Academy of Engineering, ISBN-10: 0-309-09643-X, 2007.
- Reix, A.(2002) 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, 184 pages.
- Rendres Jean-Michel(1995), "Algorithmes génétiques et réseaux de neurones", Hermès, Paris, 336 pages
- Rowe BH, Bond K, Ospina MB, et al.( 2006) Emergency Department Overcrowding in Canada: What are the Issues and What can be Done? *Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health*, 23(9), pp. 641-645.
- Rozinat A., Wynnb M.T., W.M.P. van der Aalst, Hofstede A.H.M. et Fidge C.J. (2009) Workflow simulation for operational decision support, *Data & Knowledge Engineering*, 68 (9), pp. 834-850.
- Ruohonen T., P. Neittaanmaki, J. Teittinen, (2006) Simulation Model for Improving the Operation of the Emergency Department of Special Health Care, in Simulation Conference, WSC 06. Proceedings of the Winter, pp. 453-458.
- Saltman, R. B. et Figueras, J. (1997), European health care reform: analysis of current strategies, WHO Regional Publications European Series, 308p.
- Saunders C. E., Makens P. K., Leblanc L. J. (1989) Modeling emergency department operations using advanced computer simulation systems, *Annals of Emergency Medicine*, 18 (2), pp.134-140.
- Savino Matteo Mario, Antonio Mazza, Barbara Marchetti (2015) Lean manufacturing within critical healthcare supply chain: an exploratory study through value chain simulation, *International Journal of Procurement Management*, 8(1/2), p.3-24

- Schabacker Michael ,Kilian Gericke,Nikoletta Szélig,Sándor Vajna (2013), Modelling and Management of Engineering Processes, Proceedings of the 3rd International Conference 2013, 203 pages.
- Schafermeyer R.W. et Asplin B.R. (2003) Hospital and emergency department crowding in the United States, *Emergency Medicine*, 15(1), pp.22-27.
- Schuur JD, Venkatesh AK. (2012) The growing role of emergency departments in hospital admissions, *New England Journal of Medicine*, 367(5), pp. 391-393.
- Sepulveda,J.A., et al. (1999) "The Use of Simulation for Process Improvement in a Cancer Treatment Center, Proceedings of the 31st conference on Winter simulation - Simulation : a bridge to the future, 2, pp. 1541-1548.
- Sghaier, M. (2011) Combinaison des techniques d'optimisation et de l'intelligence artificielle distribuée pour la mise en place d'un système de covoiturage dynamique, Ecole Centrale de Lille, 327 pages.
- Shen, W., Hao, Q., Yoon, H. J. and Norrie, D. H. (2006). Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review, *Advanced Engineering Informatics*, 20(4), pp. 415-431.
- Shoham Y. (1993) : Agent Oriented Programming, *Artificial Intelligence*, 60, pp. 51-92.
- Siarry, P. (2002). Application des métaheuristiques d'optimisation en Electronique, *Techniques de l'Ingénieur*, 9, 9 pages.
- Slote Morris Zoë, Boyle Adrian, Beniuk Kathleen, Robinson Susan (2012) Emergency department crowding: towards an agenda for evidence-based intervention, *Emergency Medicine Journal*, 29(6), pp.460-466.
- Smith M., Feied C., "The emergency department as a complex system," 1999, <http://www.necsi.edu/projects/yaneer/emergencydeptcx.pdf>
- Souf N-B., Renard J-M., Beuscart Régis(1999) Dynamic workflow model for complex activity in intensive care unit, *International Journal of Medical Informatics*, 53 (2/3), pp. 143-150
- Stagnara J, Vermont J, Duquesne A, Atayi D, De Chabanolle F, Bellon G. (2004) Urgences pédiatriques et consultations non programmées : enquête auprès de l'ensemble du système de soins de l'agglomération lyonnaise, *Archives Pédiatriques*, 11, pp. 108-114.
- Stainsby, H., M. Taboada, E. Luque. (2009) Towards an agent-based simulation of hospital emergency departments, *IEEE Computer Society*, pp.536-539.
- Stead W., Lin H. (2009) Computational Technology for Effective Health Care: Immediate Steps and Strategic Directions. The National Academic Press.
- Sun BC, Hsia RY, Weiss RE, et al. (2013) Effect of emergency department crowding on outcomes of admitted patients, *Annals of Emergency Medicine*, 61(6), pp. 605-611.
- Taboada, M. Cabrera, E. Iglesias, M.L. ; Epelde, F. ; Luque, E. ; (2012) An Agent-Based Decision Support System for Hospitals Emergency Departments, *Procedia Computer Science*, 4, pp. 1870-1879.
- Taghezout Noria (2011), Conception et Développement d'un système la gestion de multi-agent d'Aide à la Décision pour production dynamique, Thèse de Doctorat en Informatique de l'Université Toulouse, 212 pages.
- Taylor I., Deelman E., Gannon D., M. Shields (2007), *Workflows for e-Science: Scientific Workflows for Grids*, Springer, New York, Secaucus, NJ, USA.

- Tlahig Houda (2009) Vers un outil d'aide à la décision pour le choix entre internalisation/externalisation ou mutualisation des activités logistiques au sein d'un l'établissement de santé: cas du service de stérilisation, thèse de Doctorat en Génie industriel, Institut National Polytechnique de Grenoble – INPG, 175 pages.
- Torkki Paulus Mikael, Antti Ilmari Alho, Antti Veikko Peltokorpi, Markus Ilmari Torkki and Pentti Ensio Kallio (2006). Managing urgent surgery as a process: Case study of a trauma center. *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 22, pp 255-260.
- Tounsi, Jihène (2009) *Modélisation pour la simulation de la chaîne logistique globale dans un environnement de production PME mécatroniques*, thèse de Doctorat en Génie industriel, université de SAVOIE, 195 pages.
- Towill, D R, et Christopher, M. (2005). An evolutionary approach to the architecture of effective healthcare delivery systems, *Journal of Health Organization and Management*, 19(2), pp. 130-147.
- Trzeciak S, Rivers E.P. (2003) Emergency department overcrowding in the United States: an emerging threat to patient safety and public health. *Emergency Medicine Journal*, 20(5):402-405.
- Vissers J., van der Bij H. et Kusters R.(2001) Towards decision support for waiting lists: An operations management view, *Health Care Management Science*, 4 (2), pp. 133-142.
- Wang L. (2009) An agent-based simulation for workflow in emergency department, *Systems and Information Engineering Design Symposium, SIEDS '09*, pp.19-23.
- Wang S., Chen W., ONG C., Liu L., et Chuang. 2006. RFID Application in Hospitals: A Case Study on a Demonstration RFID Project in a Taiwan Hospital. Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'06).
- Waring, J. J., et Bishop, S. (2010). Lean healthcare: rhetoric, ritual and resistance. *Social Science & Medicine*, 71, pp.1332-1340
- Weng, SJ. B. Cheng, S. Kwong, L. Wang, and C. Chang (2011), Simulation optimization for emergency department resources allocation” Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, pp. 1231-1238.
- Werker,G., A. Saure, J. French, S. Shechter, (2009) The use of discrete-event simulation modeling to improve radiation therapy planning processes, *Radiotherapy and Oncology*, 92 (1), pp. 76-82.
- White BA, Biddinger PD, Chang Y, Grabowski B, Carignan S, Brown DF. (2013) Boarding Inpatients in the Emergency Department Increases Discharged Patient Length of Stay, *The Journal of Emergency Medicine*, 44(1), pp.230-235.
- Whitney V. Cabey, Emily MacNeill, Lindsey N. White, H. James Norton, Alice M. Mitchell(2014), Frequent Pediatric Emergency Department Use in Infancy and Early Childhood, *Pediatric Emergency Care*, 30, (10), pp. 710-717.
- Wiler, J.L., Griffey R.T. et Olsen T. (2011), Review of modeling approaches for emergency department patient flow and crowding research, *Journal of Academic Emergency Medicine*, 18(12), pp.1371-1379.
- Witmeur Renaud, Daniel Désir et Florence Hut (2012), La réforme Obama du système américain de soins de santé, *Courrier hebdomadaire du CRISP*, 35-36 (n° 2160-2161), pp. 1-100.
- WMP.vander Aalst, BF.Van Dongen, J.Herbst (2003) Workflow mining: A survey of issues and approaches, *Data & Knowledge Engineering*, 47(2), pp. 237-267.

- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996) Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection, Harvard Business Review, 74(5), pp. 140-158.
- Wooldridge M. et N.R. Jennings (1995) Intelligent agents: Theory and practice; The Knowledge Engineering Review, 10(2), pp. 115-152.
- Yeh J.-Y. et Lin W.-S.(2007) « Using simulation technique and genetic algorithm to improve the quality care of a hospital emergency department », Expert Systems. Applications, 32 (4), p. 1073-1083.
- Young, T. B., S.; Connell, C.; Davies, R.; Harper, P.; Klein, J. H. (2004). Using industrial processes to improve patient care, British Medical Journal, 328(7432), pp.162-164.
- Yuan Y., Liang T.P et Zhang J.J. (2002) *Using agent technology to support supply chain management: potentials and challenges*. Mc Master University.
- Zeltyn S., Y. N. Marmor, A. Mandelbaum et al., (2011), Simulation-Based Models of Emergency Departments: Operational, Tactical and Strategic Staffing, Journal ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS), 21 (4).
- Zgaya, H. (2007) *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 au transport*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lille, Lille.
- Zhao, L., et Lie, B. (2008) Modeling and simulation of patient flow in hospitals for resource utilization. 49th Scandinavian Conference on Simulation and Modeling, 10p.
- Zon A.H. van, Kommer G.J. (1999) Patient flows and optimal health-care resource allocation at the macro-level: A dynamic linear programming approach, Health Care Management Science 2 (2), pp.87-96.

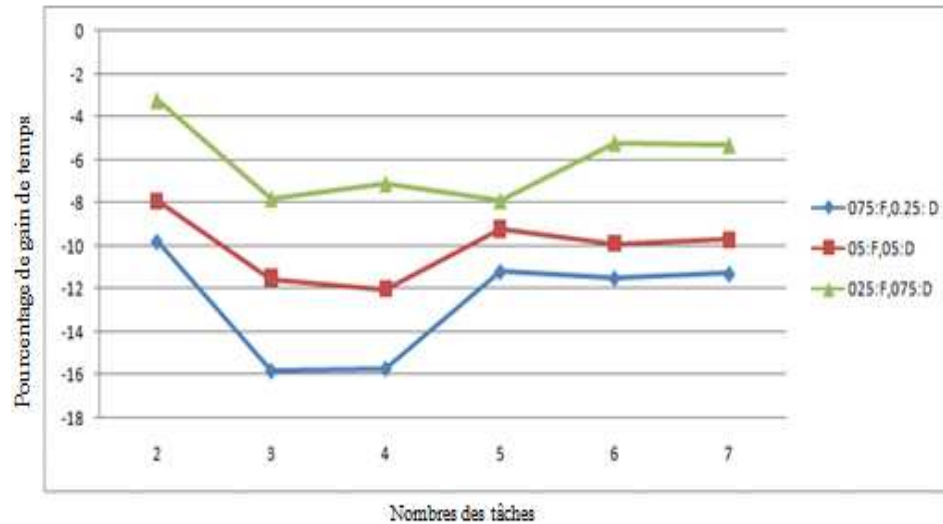
# Annexes

## - Annexe n°1

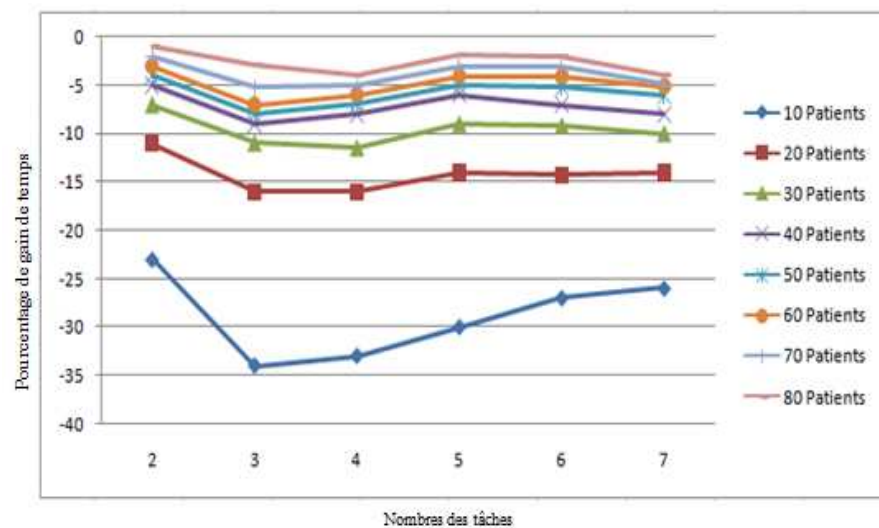
| B02011 [Lecture seule] [Mode de compatibilité] - Microsoft Excel |                  |              |                 |         |                  |                  |             |     |           |      |             |         |      |                                             |      |                              |            |       |             |      |              |          |     |   |   |  |  |
|------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|-----------------|---------|------------------|------------------|-------------|-----|-----------|------|-------------|---------|------|---------------------------------------------|------|------------------------------|------------|-------|-------------|------|--------------|----------|-----|---|---|--|--|
| V1 biologie                                                      |                  |              |                 |         |                  |                  |             |     |           |      |             |         |      |                                             |      |                              |            |       |             |      |              |          |     |   |   |  |  |
| 1                                                                | A                | B            | C               | D       | E                | F                | G           | H   | I         | J    | K           | L       | M    | N                                           | O    | P                            | Q          | R     | S           | T    | U            | V        | X   | Y | Z |  |  |
|                                                                  | date d'arrivée   | adresser par | moyen d'arrivée | origine | temps de passage | date de sortie   | traumatisme | CAC | du séjour | Drat | âge en mois | âge ans | sexe | diagnostic principal                        | CCMU | imagerie échographie scanner | radiologie | GEMSA | destination | HOSP | SDR          | biologie |     |   |   |  |  |
| 2                                                                | 09/02/2011 08:42 | NON          | perso           | domile  | 1h 35m           | 09/02/2011 08:41 |             |     |           | 3081 | Medical     | 80      | 8 F  | Otte moyenne aiguë suppurée                 |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 3                                                                | 09/02/2011 08:10 | NON          | perso           | domile  | 1h 15m           | 09/02/2011 08:30 |             |     |           | 3082 | Medical     | 9       | 1 F  | Comotio cérébrale, sans plaie intracrân     |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 4                                                                | 09/02/2011 08:20 | NON          | perso           | domile  | 1h 47m           | 09/02/2011 09:08 |             |     |           | 3083 | Medical     | 34      | 3 F  | Rach et autres éruptions cutanées non sp    |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 5                                                                | 09/02/2011 08:42 | NON          | perso           | domile  | 1h 24m           | 09/02/2011 09:35 |             |     |           | 3082 | Medical     | 62      | 5 F  | Otitis liée à l'otomastite sous, ear        |      | non                          | non        | non   | non         | 4    | pneumo       | HOSP     | non |   |   |  |  |
| 6                                                                | 09/02/2011 08:30 | NON          | perso           | domile  | 1h 57m           | 09/02/2011 08:20 |             |     |           | 3089 | Medical     | 17      | 1 M  | Pharyngite aiguë, sans précision            |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 7                                                                | 09/02/2011 08:49 | NON          | perso           | domile  | 1h 02m           | 09/02/2011 09:22 |             |     |           | 3089 | Medical     | 2       | 0 F  | Pharyngite aiguë (l'anneau basal)           |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 8                                                                | 09/02/2011 08:30 | NON          | perso           | domile  | 1h 20m           | 09/02/2011 08:40 |             |     |           | 3089 | Medical     | 9       | 1 F  | Pharyngite aiguë, sans précision            |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 9                                                                | 09/02/2011 08:43 | NON          | perso           | domile  | 1h 20m           | 09/02/2011 08:48 |             |     |           | 3089 | Medical     | 17      | 1 M  | Pharyngite aiguë, sans précision            |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 10                                                               | 09/02/2011 08:20 | NON          | perso           | domile  | 1h 10m           | 09/02/2011 08:57 |             |     |           | 3089 | Medical     | 6       | 1 M  | Gastroentérites et colites d'origine infect |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 11                                                               | 09/02/2011 08:49 | NON          | perso           | domile  | 2h 55m           | 09/02/2011 08:45 |             |     |           | 3082 | Medical     | 2       | 0 M  | hémorragie vaginale aiguë                   |      | oui                          | non        | non   | oui         | 4    | pneumo       | HOSP     | oui |   |   |  |  |
| 12                                                               | 09/02/2011 07:42 | NON          | perso           | domile  | 1h 10m           | 09/02/2011 08:02 |             |     |           | 3089 | Medical     | 22      | 2 M  | Otte moyenne, sans précision                |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 13                                                               | 09/02/2011 08:24 | NON          | perso           | domile  | 1h 08m           | 09/02/2011 08:52 |             |     |           | 3089 | Medical     | 4       | 1 M  | Néphrite tubulo-interstitielle aiguë        |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 14                                                               | 09/02/2011 08:45 | NON          | perso           | domile  | 1h 02m           | 09/02/2011 08:50 |             |     |           | 3089 | Medical     | 49      | 1 F  | Pharyngite aiguë (l'anneau basal)           |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 15                                                               | 09/02/2011 08:15 | NON          | perso           | domile  | 1h 24m           | 09/02/2011 08:27 |             |     |           | 3089 | Medical     | 64      | 5 F  | Pharyngite aiguë, sans précision            |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 16                                                               | 09/02/2011 08:25 | NON          | perso           | domile  | 2h 20m           | 09/02/2011 08:27 |             |     |           | 3089 | Medical     | 62      | 5 F  | Gastroentérites et colites d'origine infect |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 17                                                               | 09/02/2011 08:50 | NON          | perso           | domile  | 1 h              | 02/02/2011 08:50 |             |     |           | 3082 | Medical     | 14      | 1 M  | Convulsions, autres et non précisées        |      | non                          | non        | non   | non         | 4    | NEURUPED     | HOSP     | oui |   |   |  |  |
| 18                                                               | 09/02/2011 08:50 | AUTRE MEDEC  | perso           | domile  | 1h 45m           | 09/02/2011 08:40 |             |     |           | 3089 | Medical     | 10      | 1 M  | Balanoposthite                              |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 19                                                               | 09/02/2011 08:14 | NON          | perso           | domile  | 1h 05m           | 09/02/2011 08:14 |             |     |           | 3089 | Medical     | 25      | 2 M  | Otte moyenne, sans précision                |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 20                                                               | 09/02/2011 08:27 | NON          | perso           | domile  | 2h 35m           | 09/02/2011 08:32 |             |     |           | 3089 | Medical     | 49      | 3 F  | Plaie ouverte de la tête et de la cavité bu |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 21                                                               | 09/02/2011 08:42 | NON          | perso           | domile  | 1h 20m           | 09/02/2011 07:44 |             |     |           | 3082 | Medical     | 20      | 2 F  | Insuffisance respiratoire aiguë             |      | oui                          | non        | non   | oui         | 4    | pneumo       | HOSP     | non |   |   |  |  |
| 22                                                               | 09/02/2011 08:10 | NON          | perso           | domile  | 1h 03m           | 09/02/2011 08:40 |             |     |           | 3089 | Medical     | 125     | 10 F | Varicelle (sans complication)               |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 23                                                               | 09/02/2011 08:20 | NON          | perso           | domile  | 1h 28m           | 09/02/2011 08:50 |             |     |           | 3089 | Medical     | 21      | 0 F  | Pharyngite aiguë (l'anneau basal)           |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 24                                                               | 09/02/2011 08:28 | NON          | perso           | domile  | 2h 20m           | 09/02/2011 08:38 |             |     |           | 3082 | Medical     | 61      | 1 F  | Insuffisance respiratoire aiguë             |      | non                          | non        | non   | oui         | 4    | epidemo      | HOSP     | non |   |   |  |  |
| 25                                                               | 09/02/2011 08:37 | NON          | perso           | domile  | 2h 47m           | 09/02/2011 08:24 |             |     |           | 3089 | Medical     | 35      | 3 M  | Nausées et vomissements                     |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 26                                                               | 09/02/2011 08:40 | NON          | perso           | domile  | 2h 23m           | 09/02/2011 08:55 |             |     |           | 3089 | Medical     | 107     | 5 F  | Gingivite stomatite et pharyngo-amygdal     |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 27                                                               | 09/02/2011 08:50 | NON          | perso           | domile  | 1h 25m           | 09/02/2011 08:30 |             |     |           | 3082 | Medical     | 29      | 2 M  | Intoxication par médicaments et substan     |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 28                                                               | 09/02/2011 08:57 | NON          | perso           | domile  | 2h 30m           | 09/02/2011 08:51 |             |     |           | 3089 | Medical     | 57      | 0 F  | Erythème infectieux (exanthème malade)      |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | oui |   |   |  |  |
| 29                                                               | 09/02/2011 08:50 | NON          | perso           | domile  | 1h 28m           | 02/02/2011 08:24 |             |     |           | 3082 | Chirurgie   | 112     | 9 F  | Arthrite, sans précision - Arthralgie du co |      | oui                          | non        | non   | oui         | 6    | chirurgicale | HOSP     | non |   |   |  |  |
| 30                                                               | 09/02/2011 08:07 | NON          | perso           | domile  | 2h 34m           | 09/02/2011 08:40 |             |     |           | 3089 | Medical     | 20      | 2 F  | Pneumopathie, sans précision                |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 31                                                               | 09/02/2011 08:14 | MELLECIN PHA | perso           | domile  | 1h 10m           | 09/02/2011 08:25 |             |     |           | 3089 | Medical     | 12      | 1 F  | Otte moyenne aiguë suppurée                 |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 32                                                               | 09/02/2011 08:14 | NON          | perso           | domile  | 2h 00m           | 09/02/2011 08:14 |             |     |           | 3089 | Medical     | 21      | 2 M  | Otte moyenne aiguë suppurée                 |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 33                                                               | 09/02/2011 08:20 | NON          | perso           | domile  | 2h 55m           | 09/02/2011 07:20 |             |     |           | 3089 | Medical     | 0       | 0 F  | Pharyngite aiguë (l'anneau basal)           |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 34                                                               | 09/02/2011 08:25 | NON          | perso           | domile  | 4h 45m           | 09/02/2011 08:10 |             |     |           | 3089 | Medical     | 1       | 0 M  | Pellagre gastro-oesophagienne (sans oesop   |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 35                                                               | 09/02/2011 08:20 | NON          | perso           | domile  | 1h 00m           | 09/02/2011 08:20 |             |     |           | 3089 | Chirurgie   | 52      | 4 M  | Plaie ouverte de la tête et de la cavité bu |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 36                                                               | 09/02/2011 08:24 | NON          | perso           | domile  | 1h 30m           | 09/02/2011 08:04 |             |     |           | 3089 | Medical     | 54      | 5 M  | Orage                                       |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 37                                                               | 09/02/2011 08:47 | NON          | perso           | domile  | 2h 34m           | 09/02/2011 07:20 |             |     |           | 3089 | Medical     | 52      | 4 F  | Gastroentérites et colites d'origine infect |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 38                                                               | 09/02/2011 08:53 | NON          | perso           | domile  | 2h 40m           | 09/02/2011 08:57 |             |     |           | 3089 | Medical     | 5       | 0 M  | Contusion de la paroi abdominale            |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 39                                                               | 09/02/2011 08:54 | NON          | perso           | domile  | 2h 45m           | 02/02/2011 08:49 |             |     |           | 3082 | Chirurgie   | 81      | 7 M  | Contusion du cou                            |      | non                          | non        | non   | oui         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 40                                                               | 09/02/2011 08:55 | NON          | perso           | domile  | 1h 37m           | 09/02/2011 08:52 |             |     |           | 3089 | Medical     | 7       | 1 M  | Impétigo (lour micro-organisme) (lour la    |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 41                                                               | 09/02/2011 08:55 | NON          | perso           | domile  | 1h 24m           | 09/02/2011 07:50 |             |     |           | 3089 | Medical     | 2       | 0 F  | Bronchite (l'anneau basal), sans précision  |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 42                                                               | 09/02/2011 08:50 | NON          | perso           | domile  | 1h 40m           | 09/02/2011 07:40 |             |     |           | 3089 | Medical     | 11      | 0 F  | Varicelle (sans complication)               |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 43                                                               | 09/02/2011 08:03 | MEDECIN PHA  | perso           | domile  | 1h 44m           | 09/02/2011 07:47 |             |     |           | 3089 | Medical     | 61      | 5 M  | Otte moyenne aiguë suppurée                 |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 44                                                               | 09/02/2011 08:10 | NON          | perso           | domile  | 2h 10m           | 09/02/2011 08:20 |             |     |           | 3089 | Medical     | 20      | 2 M  | Varicelle (sans complication)               |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 45                                                               | 09/02/2011 08:10 | NON          | perso           | domile  | 1h 54m           | 09/02/2011 08:07 |             |     |           | 3089 | Medical     | 2       | 0 M  | Pharyngite aiguë, sans précision            |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 46                                                               | 09/02/2011 08:22 | NON          | perso           | domile  | 2h 00m           | 09/02/2011 08:22 |             |     |           | 3089 | Medical     | 167     | 14 M | Condylomes anaux (génériques)               |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 47                                                               | 09/02/2011 08:30 | NON          | perso           | domile  | 2h 30m           | 09/02/2011 08:00 |             |     |           | 3089 | Medical     | 9       | 1 M  | Pharyngite aiguë (l'anneau basal)           |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 48                                                               | 09/02/2011 08:34 | NON          | perso           | domile  | 1h 21m           | 09/02/2011 23:57 |             |     |           | 3082 | Medical     | 4       | 0 F  | Hypocœlémie                                 |      | non                          | non        | non   | non         | 4    | gastro       | HOSP     | oui |   |   |  |  |
| 49                                                               | 09/02/2011 08:38 | NON          | perso           | domile  | 2h 54m           | 09/02/2011 08:30 |             |     |           | 3089 | Medical     | 20      | 2 F  | Gastroentérites et colites d'origine infect |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 50                                                               | 09/02/2011 07:42 | NON          | perso           | domile  | 2h 10m           | 09/02/2011 08:54 |             |     |           | 3089 | Medical     | 5       | 0 F  | Pneumopathie virale, sans précision         |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 51                                                               | 09/02/2011 07:59 | NON          | perso           | domile  | 2h 05m           | 09/02/2011 08:25 |             |     |           | 3089 | Medical     | 9       | 1 F  | Pharyngite aiguë, sans précision            |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 52                                                               | 09/02/2011 07:17 | NON          | perso           | domile  | 2h 20m           | 09/02/2011 08:17 |             |     |           | 3089 | Medical     | 40      | 4 M  | Rach et autres éruptions cutanées non sp    |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 53                                                               | 09/02/2011 07:35 | NON          | perso           | domile  | 2h 10m           | 09/02/2011 08:40 |             |     |           | 3089 | Medical     | 9       | 1 M  | Gastroentérites et colites d'origine infect |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | DOMILE       | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 54                                                               | 09/02/2011 07:38 | NON          | perso           | domile  | 1h 42m           | 09/02/2011 08:20 |             |     |           | 3089 | Medical     | 25      | 2 M  |                                             |      | non                          | non        | non   | non         | 2    | SANS SONS    | SORTIE   | non |   |   |  |  |
| 55                                                               | 09/02/2011 07:51 | AUTRE MEDEC  | perso           | domile  | 1h 38m           | 09/02/2011 23:27 |             |     |           | 3082 | Medical     | 2       | 0 M  | Bronchite (l'anneau basal), sans précision  |      | non                          | non        | non   | non         | 4    | epidemo      | HOSP     | non |   |   |  |  |
| 56                                                               | 09/02/2011 07:50 | NON          | perso           | domile  | 4h 30m           | 09/02/2011 22:38 |             |     |           | 3089 | Medical     | 9       | 3 F  | Otte moyenne aiguë suppurée                 |      | non                          | non        | non   | non         |      |              |          |     |   |   |  |  |

## - Annexe n°2

### Année 2012

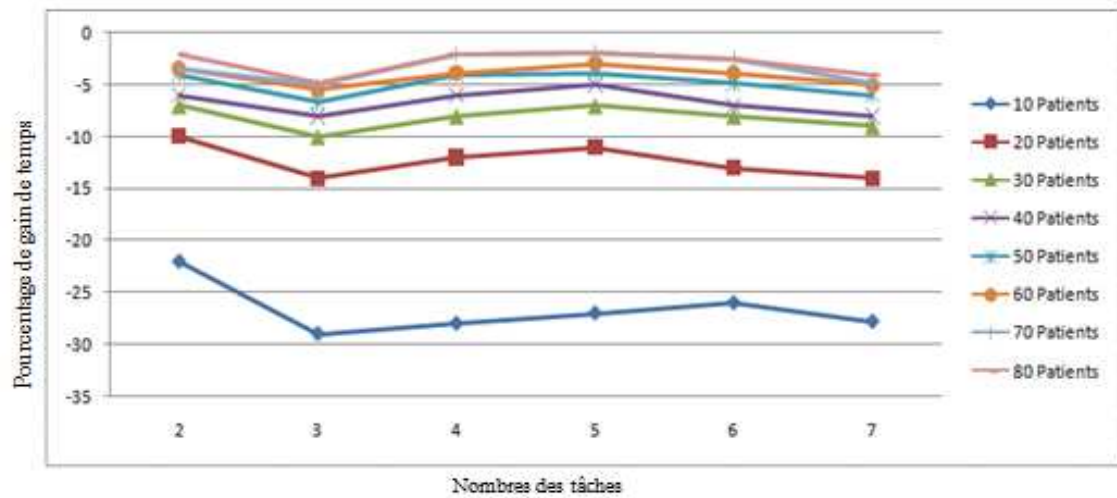


Résultats de simulation à l'aide de BD 2012. Pourcentage moyenne de gain totale de file d'attente par rapport au nombre de tâches avec des différentes tailles des patients.

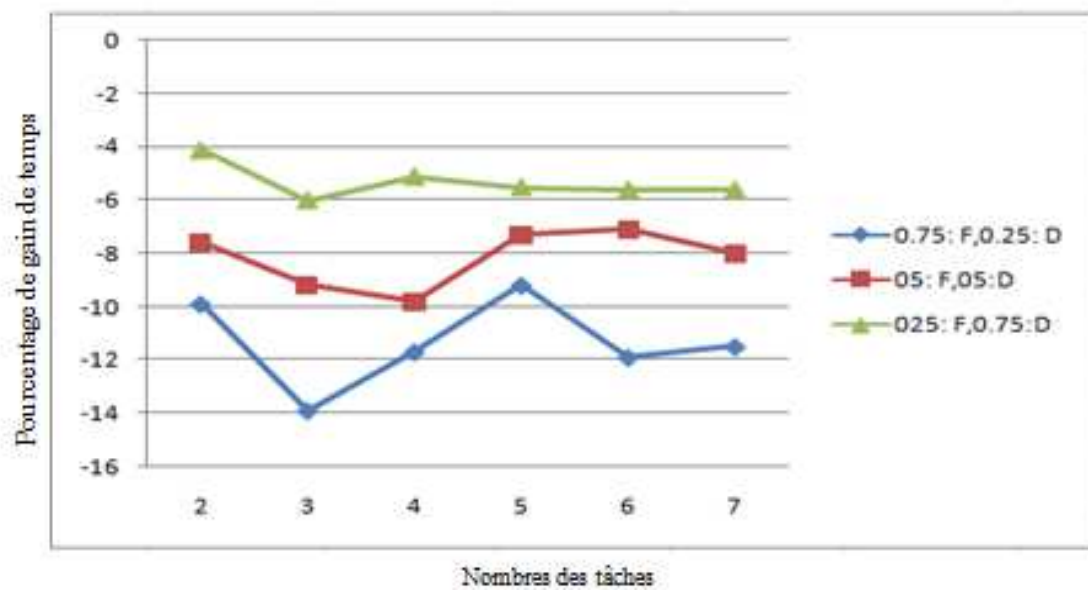


Pourcentage moyen du temps d'attente par rapport au nombre de tâches avec des proportions de patients dynamiques et fixes pour 20 patients.

## Année 2013



Résultats de simulation à l'aide de BD 2013. Pourcentage moyenne de gain totale de file d'attente par rapport au nombre de tâches avec des différentes tailles des patients.



Pourcentage moyen du temps d'attente par rapport au nombre de tâches avec des proportions de patients dynamiques et fixes pour 20 patients.

## Publications

- Revue internationale
  - Inès Ajmi, Hayfa Zgaya, Lotfi Gammoudi, Slim Hammadi, Jean-Marie Renard (2015): « *Dynamic modeling of the patient journey in a Pediatric Emergency Department of CHRU of Lille* », International Journal of computers & Technology, Vol. 12, n°6, pp 3580-3590. **(Impact Factor= 1,532)**
  - Ines Ajmi, Hayfa Zgaya, Slim Hammadi, Lotfi Gammoudi, Alain Martinot, Régis Beuscart, Jean-Marie Renard (2014): « *Mapping patient path in the Pediatric Emergency Department: A workflow model driven approach* » Journal of Biomedical Informatics. **(Impact Factor= 2,817)**
- Conférences internationales avec comité de lecture
  - Ines Ajmi, Hayfa Zgaya, Slim Hammadi, Lotfi Gammoudi, Alain Martinot, Régis Beuscart, Jean-Marie Renard (2015): Multi-agent Architecture for the Multi-Skill Tasks Modeling at the Pediatric Emergency Department, Medical Informatics Europe MIE 2015 27,29 Mai, Madrid
  - Ines Ajmi, Hayfa ZGAYA, Slim Hammadi, Alain Quillot, Alain Martinot, Régis Beuscart , Jean-Marie Renard (2015) : Multi-skill Tasks Scheduling problem at the Pediatric Emergency Departement, World Congress on Health and Biomedical Informatics MedInfo 2015 19,23 Août ,Brazil.
  - Hayfa ZGAYA, Ines Ajmi, Lotfi Gammoudi, Slim Hammadi, Alain Martinot, Régis Beuscart , Jean-Marie Renard (2014) : « *A Workflow model to analyse Pediatric Emergency overcrowding*», European Medical Informatics Conference - MIE2014 - 31 août/3septembre, Istanbul.
  - Ines Ajmi, Hayfa Zgaya, Slim Hammadi (2013): Workflow tool to Model and Simulate patient's paths in Pediatric Emergency Department, International Conference on Biology, Medical Physics, Medical Chemistry, Biochemistry and Biomedical Engineering (BIOMED), Venice 28, 30 September 2013.
  - Ines Ajmi, Hayfa Zgaya, Slim Hammadi (2013): Optimized Workflow for the healthcare logistic: Case of the Pediatric Emergency Department, International Conference on Practical Applications of Computational Biology & Bioinformatics (PACBB), 22, 24 May 2013 Salamanca.
  - Ines Ajmi , Nesrine Zoghliami, Yoann Benoit ,Wided Chandoul, Ayda Kaddoussi, Slim Hammadi (2012) : Système d'aide à la Gestion et à l'Anticipation de la tension dans les hôpitaux GISEH, Conférence Francophone Gestion et Ingénierie des Système Hospitaliers(GISEH2012), Septembre-2012, Québec-Canada.

## RESUMÉ DE LA THÈSE EN FRANÇAIS

### **Titre : Outils et modèles collaboratifs pour la gestion des tensions dans les services des urgences pédiatriques**

Dans la gestion des systèmes de production de soins, la maîtrise des flux hospitaliers et l'anticipation des tensions sont des enjeux majeurs. Les acteurs du secteur hospitalier et des filières de soins doivent maîtriser des tensions telles les pics d'activités et les engorgements de services qui sont liées aux flux des patients et aux flux des processus de soins. Ils sont toutefois démunis en méthodologies et outils d'aide à la décision et de pilotage adaptés.

Cette thèse a pour but d'étudier et de développer la modélisation, l'optimisation et la mise en œuvre d'un Système d'Aide à l'amélioration de la prise en charge des patients en mode normal et en mode tension dans les Services des Urgences Pédiatriques (SUP) du CHRU de Lille. L'objectif de cette thèse est de proposer des solutions appropriées au SUP permettant d'améliorer la prise en charge des patients en termes de temps d'attente. Nous avons donc modélisé le processus de prise en charge des patients par l'approche Workflow afin d'identifier les dysfonctionnements au SUP près cette phase de modélisation, nous avons proposé une architecture de résolution à base d'agents afin d'optimiser l'ordonnancement des flux patients et diminuer considérablement leur temps d'attente en périodes des tensions. Ensuite nous avons étudié une démarche d'orchestration dynamique du Workflow par les agents afin de réduire les temps d'attentes des patients en cours d'exécution. Cette thèse est menée dans le cadre du projet ANR HOST avec la collaboration du SUP de CHRU de Lille. Les résultats des simulations mettent en exergue l'apport de l'alliance entre les systèmes multi-agent et l'optimisation pour l'aide à la décision.

**Mots clés :** Logistique hospitalière, Système multi-agent, Workflow, Optimisation Ordonnancement, Aide à la décision, Orchestration dynamique

## RESUMÉ DE LA THÈSE EN ANGLAIS

### **Title: Collaborative tools and models for the management of tensions in the services emergency pediatric**

In the healthcare production management systems, the control of the patient flows and the anticipation of the tensions are major issues. Due to the increasing the crowding situations and their consequences, there is an ever increasing emphasis on the ability of the actors in hospital and healthcare pathways to manage the patient health care process. They must be able to control the crowding (peaks of activities, congestion of services) that are related to patient and healthcare processes flows. However, decision makers do not have sufficient methodologies and decision support tools adapted for controlling the patient flows.

This thesis aims to investigate and develop modeling, optimization and implementation of a Support System to improve the care of patients in normal situation and crowding situation in Services Pediatric Emergencies (SUP) of the Lille University Hospital. The objective of this thesis is to propose appropriate solutions to the SUP to improve care for patients in terms of wait times. We therefore modeled the process of care for patients by Workflow approach to identify malfunctions in the SUP near the modeling phase; we proposed a resolution of agent-based architecture to optimize scheduling patient flow and significantly decrease their waiting time during periods of tension. Then we studied a dynamic process orchestration workflow by agents to reduce the expectations of patients running time. This thesis is conducted under the ANR HOST project in collaboration with the Lille University Hospital SUP. The simulation results highlight the contribution of the alliance between the multi-agent systems and optimization for decision support.

**Keywords:** Hospital logistics, Multi-agent system, Workflow, Optimization, Scheduling, Decision support, Dynamic orchestration.