HAL
open science

Outils d'aide à la décision basés sur la simulation pour la logistique hospitalière, application à un nouvel hôpital

Fateh Mebrek

To cite this version:

Fateh Mebrek. Outils d'aide à la décision basés sur la simulation pour la logistique hospitalière, application à un nouvel hôpital. Modélisation et simulation. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2008. Français. NNT : 2008CLF21898 . tel-00731433

HAL Id: tel-00731433

https://theses.hal.science/tel-00731433v1

Submitted on 13 Sep 2012

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

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

N° d'ordre : 1898
EDSPIC : 427

Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II

École Doctorale
Sciences Pour l'Ingénieur de Clermont-Ferrand

THÈSE

Présentée par

Fateh MEBREK

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'UNIVERSITÉ

Spécialité : INFORMATIQUE

Outils d'aide à la décision basés sur la simulation pour la logistique hospitalière, application à un nouvel hôpital

---

Soutenue publiquement le 11 décembre 2008 devant le jury :

Monsieur	Alain Quilliot	Président
Monsieur	Aziz Moukrim	Rapporteur
Monsieur	Alain Guinet	Rapporteur
Monsieur	Khaled Belkadi	Examinateur
Monsieur	Michel Gourgand	Directeur de thèse
Monsieur	Alain Tanguy	Directeur de thèse

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Michel GOURGAND et Alain TANGUY, professeur à l'ISIMA de Clermont-Ferrand, pour la confiance qu'ils m'ont accordée en me permettant d'effectuer une thèse sous leurs directions.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury qui ont accepté d'être les rapporteurs et examinateurs de ma thèse.

J'adresse mes plus sincères remerciements à Monsieur Bernard ALEKSY, ingénieur d'organisation de l'hôpital Hôtel Dieu et du NHE de Clermont-Ferrand, pour son aide précieuse et ses précieux conseils afin d'améliorer la qualité de mes travaux de thèse.

J'exprime ma reconnaissance et mes remerciements à Monsieur Philippe LACOMME, Monsieur Nikolay TCHERNEV, Monsieur Pierre FENIES, Madame Sylvie NORRE et Madame Michelle CHABROL.

Toute ma gratitude va à ma famille et en premier lieu mes parents, pour leur amour inconditionnel et leur soutien permanent, ainsi qu'à ma très chère femme Ahlem.

Je dédie ce travail à mes frères et mes sœurs, ainsi qu'à leurs enfants.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont accompagné au cours de toutes ces années, famille et amis, qui m'ont entouré tous les jours de leur soutien.

Table des matières

Table des matières
Liste des Figures
Liste des Tableaux

Introduction…….. 2

Chapitre I : Contexte de l'étude……... 5

1. Introduction…….…….. 6
2. Les problèmes posés par les systèmes hospitaliers……..……. 6
3. Techniques de résolution des systèmes hospitaliers……. 14
4. Conclusion……. 14

Chapitre II : État de l'art ……... 15

1 : les systèmes hospitaliers……..... 16

1.1. Introduction…….……... 16
1.2. Management des systèmes hospitaliers…….……. 16
1.3. Système d'information hospitalier…….……. 17
1.4. La logistique hospitalière……. 18
1.5. Modélisation et simulation des systèmes hospitaliers dans la littérature …… 20
1.6. Dimensionnement des ressources….……. 22
1.7. Affectation des ressources…….. ……. 23
1.8. Résumé du groupe GISEH……..…….. 26

2 : Le système hospitalier Français……..... 29
2.1. Introduction…….. 29
2.2. Les systèmes…….…….…… 29
2.2.1. Définition du système …….……... 29
2.2.2. Classification des systèmes….. …… 30
2.2.3. Fonctionnement d'un système..……. 31
2.3. Le système hospitalier Français…….……... 31
2.3.1. Répartition des hôpitaux en France……... 31
2.3.2. Mission des établissements de santé…….. 31
2.3.3. Personnel des établissements de santé……..……..... 32
2.3.4. Hôpital Hôtel Fieu de Clermont-ferrand…… 33
2.3.4.1. Structure actuelle……. …..……..…… 34
2.3.4.2. Organisation des flux……. ……...……... 35
2.3.5. Le projet NHE…… …….……..... 36
2.3.5.1. Les changements…….. ……... 36
2.3.5.2. Un nouvel environnement……... ……..…….. 37
2.3.5.3. Une nouvelle infrastructure…….…….. 37
2.3.5.4. Organisation en pôle ……..…….. 37
2.3.6. Les objectifs du projet NH…….. …..…….. 40
2.4. Conclusion……. 40

3 : État de l'art sur la modélisation……..... 40
1. Introduction…… 41
3.2. La modélisation……..…… 41
3.3. Différents approches de modélisation……... 41
3.4. Les niveaux de modélisation……..... 41

4 : Les environnements de modélisation existants……..... 48

4.1. Introduction…… 48
SEMOLA…… 49
JDEVS…… 49
ECOLEGO……... 49
Conclusion…….. …… 50

5 : La méthodologie de modélisation ASCI…….……..... *51*

5.1. Introduction……... 51
5.2. Une approche de modélisation des systèmes complexes……..... 51
5.3. Le processus de modélisation…… …….. 51

6 : État de l'art sur la simulation……...……..... 55

6.1. Introduction…… 55
6.2. Concept de base ……..……...……..... 55
6.2.1. Définition……..……..…… 55
6.3. Catégorie de simulation……. ……..……..…… 55
6.3.1. Monte Carlo…….. …… 55
6.3.2. Simulation continue……..……. 55
6.3.3. Simulation à événements discrets…….. …… 56
6.4. Avantages et limitations…… ……..... 57
6.5. Outils et langages de programmation……...……..... 58
6.5.1. Conduite d'un projet de simulation avec Witness……. ……..... 58
6.5.2. SIMULA……..... 63
6.5.3. QNAP……..... 64
.6. Conclusion..... 65

7 : Analyse de résultat……..……...……..... 67

7.1. Introduction……. 67
7.2. Type de simulation en regard de l'analyse des résultats……..…….. 67
7.2.1. Régime transitoire et régime permanant…….. 67
7.2.2. Types de simulations non terminantes..……..……..……... 68
7.3. Éléments d'analyse statistique…….. …… 68
7.3.1. Analyse statistique des résultats d'une simulation terminante……... 68
7.3.2. Principe d'estimation……. ……. 69
7.3.2.1. Estimation par intervalle de confiance….…….. 69

Chapitre III : Proposition d'une méthodologie de modélisation ASCI-générique…….. 72

1 : Environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers……..... 72
1.1. Introduction……... 72
1.2. Environnement de modélisation d'un système hospitalier…..……..... 74

2 : Méthodologie de modélisation et de simulation……..... 74

2.1. Introduction…….....…… 75
2.2. Modèle générique de conniassance.....……. 76
2.3. Algorithme du programme en SIMULA ……..…… 78
2.4. Algorithme de QNAP2……...…..…….. 80

3 : Passage *du modèle de connaissance vers le modèle d'action*..……..... 81

3.1. Introduction……. 81
3.2. Principes généraux……..... ……..…….……..... 81

3.3. Conclusion..... 83

4 : Passage *du modèle de files d'attente vers le modèle d'action*....... 84
4.1. Introduction..... 84
4.2. Présentation générale des files d'attente..... 84
4.2.1. Description du modèle..... 84
4.2.2. Comportement d'un file d'attente..... 85
4.2.3. Réseau de files d'attente..... 86
4.2.4. Description du réseau..... 86
4.2.5. Comportement du réseau..... 86
4.3. Passage de modèle de files d'attente vers le modèle d'action..... 87
4.3.1. Passage de modèle de file d'attente vers SIMULA..... 87
4.3.2. Passage de modèle de file d'attente vers QNAP2..... 89
4.3.3. Passage de modèle de file d'attente vers Witness..... 89
4.4. Méthodologie de passage de modèle de connaissance vers le modèle d'action..... 90
4.4.1. Les étapes de passage modèle de connaissance vers le modèle d'action..... 91
4.4.2. Cas d'étude de la méthodologie dans l'hôpital..... 93
4.5. Interface avec Visuel Basic..... 102
4.6. Conclusion..... 103

5 : *Connexion entre les modèles de l'hôpital*..... 104

5.1. Introduction..... 104
5.2. Notion de paquetage..... 104
5.3. Application des diagrammes de paquetage pour l'hôpital..... 106

Chapitre IV : Mise en oeuvre de la méthodologie de modélisation dans le NHE..... 109

1. Introduction..... 109
2. Modèle de connaissance..... 109
2.1. Pôle imagerie 109
2.1.1. Introduction..... 109
2.1.2. Sous système logique..... 110
2.1.3. Sous système physique..... 112
2.1.4. Sous système décisionnel..... 113
2.1.5. Communication entre les trois sous système du pôle imagerie..... 113
2.2. Brancardage..... 114
2.2.1. Introduction..... 114
2.2.2. Sous système physique..... 114
2.2.3. Sous système logique..... 115
2.2.4. Sous système décisionnel..... 116
2.2.5.Communication entre les trois sous système du brancardage..... 116
2.4. La zone de transit..... 117
2.4.1. Introduction..... 117
2.4.2. Sous système logique..... 118
2.4.3. Sous système physique..... 123
2.4.4. Sous système décisionnel..... 124
2.4.5. Communication entre les trois sous système de la zone de transit..... 124
3. Modèle d'action..... 125
3.1. Pôle imagerie..... 125
3.1.1. Modèle de classe de l'imagerie..... 125
3.1.2. Modèle de files d'attente..... 126
3.1.3. Modèle SIMULA 127
3.1.4. Modèle Witness 129
3.1.5. Modèle QNAP2..... 130
3.2. Brancardage..... 131
3.2.1. Modèle de classe du brancardage..... 132
3.2.2. Modèle de files d'attente..... 133

3.2.3. Modèle SIMULA …….. 133
3.2.4. Modèle Witness …… 134
3.2.5. Modèle QNAP2……... 136
3.3. La zone de transit……..... 136
3.3.1. Modèle de classe de l'imagerie……... 136
3.3.2. Modèle de files d'attente……. 137
3.3.3. Modèle SIMULA …… 138
3.3.4. Modèle Witness ……..... 139
3.3.5. Modèle QNAP2…… 141
4. Comparaison entre les outils …… 142
5. Conclusion……..... 144

Conclusion Générale et perspectives..... 145

Bibliographie 149

Annexe 1 : Pôle imagerie..... 157
Annexe 2 : Pôle logistique..... 161
Annexe 3 : Outil de simulation de la logistique hospitalière 181

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Arbre causal…….....… 13
Figure 2.1.1 : La logistique hospitalière……..... 22
Figure 2.1.2 : Niveaux de Décision d'une entreprise ……. 24
Figure 2.1.3 : Approches de planification…..……. 25
Figure 2.1.4 : Typologie des problèmes d'ordonnancement classique…… 25
Figure 2.1.5 : Typologie des problèmes d'ordonnancement des Ressources Humaines… 26
Figure 2.2.1 : Système Environnement…… 29
Figure 2.2.2 : Fonctionnement d'un système…….. 31
Figure 2.2.3 : Répartition des hôpitaux en France……... 32
Figure 2.2.4 : Organisation de l'hôpital hôtel Dieu de Clermont Ferrand…… 35
Figure 2.3.1 : Approche processus de ARIS ……..……..... 42
Figure 2.3.2 : Les 3 niveaux : macroscopique, mésoscopique, microscopique …… 46
Figure 2.3.3 : Organisation des huit niveaux descriptifs de la structure ……..... 47
Figure 2.5.1 : Processus de modélisation…… 52
Figure 2.5.2 : Communication entre les trois sous systèmes…… 53
Figure 2.6.1 : Noyau d'un simulateur à événements discrets …… 56
Figure 3.1.1 : Environnement de modélisation d'un système hospitalier……... 73
Figure 3.2.1 : Méthodologie de modélisation et de la simulation ASCI-générique……. 74
Figure 3.2.2 : Modèle générique de connaissance…… 75
Figure 3.2.3 : Modèle de files d'attente…… 76
Figure 3.2.4 : Modèle Witness…….. 76
Figure 3.2.5 : Fragment du modèle SIMULA…….. 77
Figure 3.2.6 : Fragment du modèle QNAP2…… 77
Figure 3.2.7 : Algorithme de SIMULA de la zone de transit…… 78
Figure 3.2.8: fragment d'une transaction en SIMULA pour la livraison …….. 79
Figure 3.2.9: Séquence des principaux blocs des modèles en QNAP2…… 80
Figure 3.3.1 : Passage du modèle ARIS vers Witness …… 81
Figure 3.3.2 : Passage du modèle ARIS vers SIMULA …… 82
Figure 3.3.3 : Définition d'un article Witness …… 82
Figure 3.4.1 : Passage modèle de files d'attente vers SIMULA……... 87
Figure 3.4.2 : Passage modèle de files d'attente vers QNAP2…… 89
Figure 3.4.3 : Passage modèle de files d'attente vers Witness……. 89
Figure 3.4.4 : Principe de passage modèle de connaissance vers le modèle d'action…….. 90
Figure 3.4.5 : Méthodologie de passage modèle de connaissance vers le modèle d'action. 91
Figure 3.4.6 : Etape de passage modèle de connaissance vers le modèle d'action……. 92
Figure 3.4.7 : CPE logistique…… 93
Figure 3.4.8 : CPE imagerie……. 95
Figure 3.4.9 : CPE aller brancardage…… 97
Figure 3.4.10 : CPE retour brancardage……... 98
Figure 3.4.11 : Interface ARIS et Visuel Basic…… 102
Figure 3.5.1 : Diagramme de paquetage…….. 104
Figure 3.5.2 : Relation « importe »……... 105
Figure 3.5.3 : Exemple de diagramme de paquetage….…… 105
Figure 3.5.4 : Connexion entre les modèles de l'hôpital..…… 106
Figure 3.5.5 : Fonctionnement de la connexion entre les modèles……... 107
Figure 4.1.1 : Répartition des activités…… 109
Figure 4.1.2 : Modélisation ARIS…….…… 110
Figure 4.1.3 : Processus de l'imagerie…… 111

Figure 4.1.4 : Fonctions d'aide radiologue de l'imagerie…… 111
Figure 4.1.5 : Fonctions de secrétaire de l'imagerie……. 112
Figure 4.1.6 : Sous système physique de l'imagerie…… 112
Figure 4.1.7 : Sous système décisionnel de l'imagerie…… 113
Figure 4.1.8 : Communication entre les trois sous systèmes de l'imagerie…… 114
Figure 4.1.9 : Sous système physique du brancardage…… 115
Figure 4.1.10 : Processus brancardage …… 115
Figure 4.1.11 : Sous système décisionnel du brancardage …… 116
Figure 4.1.12 : Communication entre les trois sous systèmes de brancardage …… 117
Figure 4.1.13 : Représentation simplifiée et généralisée des activités logistiques …… 118
Figure 4.1.14 : CPE collecte contenants vides …… 119
Figure 4.1.15 : CPE collecte contenants pleins…… 119
Figure 4.1.16 : Déchargement camion …… 120
Figure 4.1.17 : Processus de la zone de transit …… 120
Figure 4.1.18 : Processus distribution …… 121
Figure 4.1.19 : Processus collecte …… 121
Figure 4.1.20 : Processus réception de marchandises …… 122
Figure 4.1.21 : Processus expédition…… 122
Figure 4.1.22 : Fonction de l'équipe du soir …… 122
Figure 4.1.23 : Fonction de l'équipe de matin …… 123
Figure 4.1.24 : Sous système décisionnel de la zone de transit …….. 124
Figure 4.1.25 : Communication entre les trois sous systèmes de la zone de transit …… 125
Figure 4.1.26 : Modèle de classe du pôle imagerie 126
Figure 4.1.27 : Modèle de files d'attente du pôle imagerie …… 127
Figure 4.1.28 : Modèle de simulation du pôle imagerie …… 129
Figure 4.1.29 : Fonctionnement du service brancardage…… 132
Figure 4.1.30 : Modèle de classe de brancardage …… 132
Figure 4.1.31 : Réseau de files d'attente brancardage ……. 133
Figure 4.1.32 : Modèle Witness du brancardage…… 134
Figure 4.1.33 : Modèle de classe de la zone de transit …… 137
Figure 4.1.34 : Modèle de files d'attente de la zone de transit…..…… 137
Figure 4.1.35 : Modèle Witness de la zone de transit…… 140

FIGURES ANNEXE 1

Figure 1 : Organigramme de l'imagerie …….. 158
Figure 2 : Mouvement de l'imagerie…… 158
Figure 2 : Flux interne de l'imagerie……. 159
Figure 3 : Matrice interservices de l'imagerie…… 160

FIGURES ANNEXE 2

Figure 1: Organigramme du service brancardage……. 162
Figure 2 : Flux interne du brancardage…… 162
Figure 3 : Organigramme de la blanchisserie…… 163
Figure 4 : Matrice de la blanchisserie…… 163
Figure 5 : Mouvements de la blanchisserie…… 164
Figure 6 : Flux interne et externe de la blanchisserie…… 165
Figure 7 : Matrice de la pharmacie…… 166
Figure 8 : Mouvement de la pharmacie ……... 166

Figure 9 : Flux interne et externe de la pharmacie…… 167
Figure 10 : Matrice de la restauration…… 168
Figure 11 : Flux internes de la restauration……..…… 168
Figure 12 : Mouvements de la restauration…… 169
Figure 13 : Organigramme de la restauration…… 169
Figure 14 : Collecte déchets…… 170
Figure 15 : Constat pannes…… 171
Figure 16 : Contrôle véhicule…… 172
Figure 17 : Tri linge sale…… 172
Figure 18 : Délégation de ressources…… 173
Figure 19 : Gestion planning…… 174
Figure 20 : Nettoyage matériel…… 175
Figure 21 : Préparation boissons…… 175
Figure 22 : Réception messagerie…… 176
Figure 23 : Réception quantitative…… 177
Figure 24 : Tri colis……. …… 178
Figure 25 : Transport mobilier…… 179
Figure 26 : Tri déchets……. 180

FIGURES ANNEXE 3

Figure 1 : Outil de simulation de la logistique hospitalière…….. 181
Figure 2 : Simulation du pôle imagerie….…… 183
Figure 2 : Simulation du service brancardage……. 184
Figure 3 : Simulation de la logistique(blanchisserie)……..…… 185

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1.1 : Les principaux sujets d'étude concernant les systèmes hospitaliers…… 22
Tableau 2.1.2 : Résumé du travail de recherche GISEH 2004…… 28
Tableau 2.2.1 : Composition des pôles du NHE…… 37
Tableau 2.3.1 : Diagramme organisationnel..... 43
Tableau 2.3.2 : Vue de données..... 43
Tableau 2.3.3 : Vue des fonctions..... 43
Tableau 2.3.4 : Vue de CPE..... 45
Tableau 2.3.5 : Vue de processus…… 45
Tableau 2.6.1 : Outils de simulation existants..... 58
Tableau 3.4.1 : Modèle ARIS logistique……. 94
Tableau 3.4.2 : Modèle ARIS imagerie…….. 96
Tableau 3.4.3 : Modèle ARIS processus aller brancardage……. 99
Tableau 3.4.4 : Modèle ARIS processus retour brancardage…… 99
Tableau 3.4.5 : Fichier intermédiaire brancardage……. 100
Tableau 3.4.6 : Fichier intermédiaire imagerie…… 101
Tableau 3.4.7 : Fichier intermédiaire logistique…….. 101
Tableau 4.1 : Résultats SIMULA du pôle imagerie……. 128
Tableau 4.2 : Modèle de données du pôle imagerie……. 129
Tableau 4.3 : Les composants logiciels du pôle imagerie…… 129
Tableau 4.4 : Résultats Witness du pôle imagerie…….. 130
Tableau 4.5 : Modèle QNAP2 du pôle imagerie…… 130
Tableau 4.6 : Résultats QNAP2 du pôle imagerie…….. 131
Tableau 4.7 : Modèle de données du brancardage..... 133
Tableau 4.8 : Modèle SIMULA du brancardage…… 133
Tableau 4.9 : Les composants logiciels du brancardage. 135
Tableau 4.10 : Résultats articles brancardage..... 135
Tableau 4.11 : Résultats machines brancardage..... 135
Tableau 4.12 : Résultas QNAP2 brancardage……. 136
Tableau 4.13 : Distribution de la durée de traitement de la zone de transit……. 138
Tableau 4.14 : Distribution de flux par quantité de la zone de transit……. 138
Tableau 4.15 : Résultats SIMULA de la zone de transit…….. 139
Tableau 4.16 : Résultats Witness de la zone de transit…… 140
Tableau 4.17 : Les composants Witness de la zone de transit……. 140
Tableau 4.18 : Modèle QNAP2 de la zone de transit…….. 141
Tableau 4.19 : Résultats du modèle QNAP2 de la zone de transit…….. 141
Tableau 4.20 : Comparaison des résultats du pôle imagerie…….. 143
Tableau 4.21 : Comparaison des résultats du service brancardage…….. 143
Tableau 4.22 : Comparaison des résultats du pôle logistique…….. 143

Outils d'aide à la décision basés sur la simulation pour la logistique hospitalière, application à un nouvel hôpital

Résumé

De nos jours les entreprises dans notre cas les systèmes hospitaliers, ont besoin de modéliser leur organisation, afin d'analyser leur fonctionnement, de détecter les dysfonctionnements et d'inventorier les flux internes et ceux échangés avec l'environnement. La modélisation étant un outil d'aide à la décision permettant d'éviter des investissements inconsidérés. Cette thèse décrit une modélisation et une simulation d'un hôpital moderne du système hospitalier français. Une méthodologie de modélisation ASCI (Analyse, Spécification, Conception et Implémentation) est utilisée pour ce système. Le processus de modélisation proposé fournit des modèles (modèle de connaissances, modèles d'action, modèles de résultats) dont l'évaluation permet de dimensionner le système et d'obtenir ses performances. Dans ce contexte s'inscrit ce travail de recherche, qui consiste à développer et utiliser la méthodologie de modélisation ASCI qui a été développé au sein du laboratoire LIMOS de Clermont-Ferrand pour la classe de systèmes de production et que nous adaptons aux systèmes hospitaliers.

Mots clés : Systèmes hospitaliers, Processus de modélisation, Méthodologie de modélisation ASCI, Simulation, Modèle de connaissance, Modèle d'action, Modèle de résultat.

ABSTRACT

Nowadays companies in our case hospital systems need to model their organization, in order to analyze their operation, to detect the dysfunctions, and to inventory internal flows and those exchanged with the environment. The modelling is a tool to make the decision and to avoid uncontrolled investments. This thesis describes a modelling and simulation of a modern hospital of the hospital system. The process of modelling proposed will provide models (knowledge model, action model, result model) whose evaluation will make it possible to dimension the system and to obtain its performances. In this context fits my research task, which consists in using and to develop a methodology of modelling ASDI (Analysis-Specification-Design-Implementation), which was developed within our laboratory research LIMOS of Clermont Ferrand for a class of system, in our case we are interested in the hospital system which constitutes the field of application of our methodology.

Keywords: Hospital system, Modelling process, Modelling methodology ASDI, Simulation, Knowledge model, Action model, Result model.

INTRODUCTION

Un système hospitalier comprend un grand nombre de secteurs d'activités qui disposent d'une grande autonomie et possèdent leur propre mode de fonctionnement. En raison du cloisonnement des différents secteurs d'activités, la communication entre secteurs s'avère parfois difficile. Ces secteurs de responsabilité dépendent non seulement d'un système central d'approvisionnement et de gestion, mais également du fonctionnement d'autres secteurs par l'intermédiaire des flux de patients, de matériels et d'informations. Enfin ces systèmes sont amenés à définir des politiques de gestion pour résoudre des problèmes de partage de ressources.

Un hôpital doit accueillir tous les patients pour des soins immédiats même si leur prise en charge n'a pas été programmée. Cette nature aléatoire des arrivées de patients induit des problèmes d'affectation du personnel et des patients dans les différentes unités de soins. Pour maîtriser un système hospitalier, il convient de résoudre un maximum de problèmes dés la phase de conception. En raison des investissements que représente la mise en route d'une nouvelle unité de soins, les problèmes de dimensionnement sont très importants. En phase d'exploitation, il est difficile, voire risqué, d'intervenir dans le fonctionnement d'un organisme de santé dont dépendent des vies humaines. Il faut être capable d'évaluer a priori le fonctionnement ou la restructuration du système. Jusqu'à présent, cette évaluation a été souvent menée à bien avec des indicateurs quantitatifs fournis par des études statistiques. Il est, toutefois, fondamental de prévoir les effets d'une augmentation brutale de la charge sur le comportement de ces systèmes. Les causes et les effets des dysfonctionnements doivent aussi être analysés. Rajouter des moyens physiques et humains n'est pas toujours la meilleure solution ; la source d'un problème peut être une mauvaise gestion et/ou organisation de l'unité étudiée, ou d'autres unités ayant une forte interaction avec celle-ci. La résolution de ces problèmes exige la mise en œuvre de méthodes, techniques et outils adaptés à leur complexité.

La simulation est une technique consistant à construire une représentation informatique du système étudié, afin d'observer son comportement sous les conditions bien définies. Cependant, la conception de modèle de simulation et leur exploitation sur ordinateur sont réservées souvent aux spécialistes dans ce domaine. Pour chaque système à évaluer, une étude est réalisée : elle conduit à la construction d'un modèle dédié à ce système, généralement non réutilisable pour une autre étude ou système différent. Tous les systèmes hospitaliers présentent de très fortes analogies. Il est donc intéressant et important de construire des modèles génériques et de situer les problèmes dans le cadre de la classe des systèmes hospitaliers. Il est, de plus souhaitable de rendre les outils de modélisation l'évaluation des performances plus conviviaux et accessibles aux non informaticiens. Ce problème a été résolu dans le domaine des systèmes flexibles de production en construisant des environnements de modélisation.

Notre objectif est de proposer une méthodologie de modélisation que nous mettons en œuvre pour la conception de modèles de simulation pour deux organisations hospitalières. La première est celle d'un ancien hôpital AH devant évoluer vers une nouvelle organisation NH correspondant à un nouvel hôpital implanté dans de nouveaux locaux ou restructuré en pôles. Cette méthodologie a été expérimentée sur un hôpital ayant une ancienne implantation HD évoluant vers une structure en pôles implantée sur un nouveau site NHE. Notre ambition est que notre démarche soit suffisamment générique et puisse être utilisée pour la construction d'hôpitaux.

Notre champs d'étude concerne le fonctionnement et le comportement d'un nouvel hôpital en focalisant sur deux pôles stratégiques : le pôle logistique (pharmacie, stérilisation, restauration, blanchisserie) et le pôle imagerie. Pour cela, nous concevons des modèles qui nous permettent de :

- Modéliser l'ancienne et la nouvelle structure de l'hôpital,
- Simuler les deux organisations,
- Etudier le dimensionnement des ressources matérielles et humaines,
- Evaluer le taux d'utilisation des ressources,
- Evaluer le temps d'attente et la durée d'exécution des tâches.

Cette thèse est structurée en quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous présentons les principaux problèmes posés par la classe des systèmes hospitaliers et les solutions proposées pour les résoudre. Le deuxième chapitre présente un état de l'art décomposé en sept parties : dans la première nous introduisons la problématique plus détaillée des systèmes hospitaliers et nous présentons quelques travaux déjà effectués. Dans la deuxième, nous étudions le système hospitalier français. Nous avons travaillé en étroite collaboration avec un centre hospitalier universitaire, nous le présentons ainsi que le projet du nouvel hôpital d'Estaing (NHE), sa nouvelle organisation et ses principaux objectifs. La troisième section nous présentons un état de l'art sur la modélisation et ses différentes approches. La modélisation et l'évaluation des performances apparaissent comme des démarches efficaces mais utilisant des outils complexes et difficiles à acquérir. Dans la quatrième section nous évoquons la définition d'un environnement de modélisation. Une étude bibliographique recense les principaux avantages et inconvénients des environnements existants. Les outils et méthodes mis en œuvre pour l'obtention de modèles sont présentés. Nous justifions ainsi, l'utilisation d'une démarche systémique et d'une approche orientée objets pour l'analyse des systèmes hospitaliers, ainsi que nécessité d'un guide méthodologique pour les utilisateurs de l'environnement. En conséquence, nous présentons les outils de spécification et les méthodes d'analyse afin de définir un cahier des charges complet pour la conception d'un environnement de modélisation destiné à la classe des systèmes hospitaliers. La cinquième section est consacrée à la démarche méthodologique que nous avons adaptée. Cette démarche repose sur les concepts énoncés [Kellert, 1994] et comprend les étapes suivantes :

- Une analyse du domaine des systèmes hospitaliers permettant de formaliser les problèmes posés et de définir les objectifs de l'étude.
- Le recensement des entités et des relations qui constituent le domaine d'étude.
- Une proposition d'outils de spécification des flux, des activités et des moyens physiques d'un système du domaine.
- Une technique de traduction de modèles de fonctionnements, résultant de la spécification, dans un langage de simulation. Le processus de modélisation et la démarche ASCI (Analyse, Spécification, Conception, Implantation) proposée au laboratoire d'informatique de l'université Blaise Pascal [Kellert, 1994]. Cette démarche permet de concevoir une méthodologie de modélisation et de simulation destinée à une classe de systèmes.

La sixième section présente un état de l'art sur la simulation : concept de base, langages de simulation, différents types de simulation. Dans la dernière section nous présentons la définition de l'analyse de résultat.

Le troisième chapitre nous proposons une méthodologie de modélisation décomposée en cinq parties : dans la première, nous étudions l'environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers. Dans la deuxième, nous proposons la méthodologie de modélisation et de simulation générique. Dans la troisième, nous évoquons les techniques de passage du modèle

de connaissances vers le modèle d'action. Dans la quatrième, nous présentons les techniques de passage de modèle de files d'attente vers le modèle d'action. Dans la dernière, nous traitons la connexion entre les différents modèles étudiés auparavant. Le quatrième chapitre décrit la mise en œuvre de la méthodologie, nous commençons par définir le modèle de connaissances de la logistique zone de transit, brancardage et du pôle imagerie du nouvel hôpital d'Estaing (NHE) avec l'outil ARIS, ensuite nous construisons les modèles d'action ou de simulation du NHE à partir de ces modèles de connaissances en utilisant SIMULA, Witness et QNAP2. Nous présentons les résultats fournis par ses modèles. En conclusion, nous tentons de faire un bilan de ce travail et d'en dégager les axes de progrès méthodologiques et informatiques.

CHAPITRE I

CONTEXTE DE L’ÉTUDE

1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons différents problèmes rencontrés dans les systèmes hospitaliers et nous proposons différents types de solutions existantes pour ces types de problèmes. On commence par cité les problèmes rencontré dans notre système au cours de l'existant puis on essaye de lister les problèmes rencontré dans ce domaine au cours de ces dernière année enfin nous citons les techniques de résolution utilisés dans ce domaine.

2. Les problèmes posés par les systèmes hospitaliers

Lors de la phase d'analyse de l'existant que nous avons faite dans les services de l'hôpital Hôtel Dieu nous avons pu effectuer des entretiens avec les différents acteurs de conception (experts, chefs des services) ce qui nous a conduit à identifier les points faibles et les points forts de chaque service. Ce recueil de connaissance montre l'importance qu'on doit donner aux différentes unités de soins et au regroupage des sous problèmes en types de problèmes. L'arbre causal (figure 1.1) illustre cette classification selon les différents types de problèmes et montre les causes à prendre en compte pour réaliser une bonne analyse qui mènera à une spécification détaillée d'un modèle de connaissance convenable. Le nœud représentant la dégradation de qualité est considéré comme la cause principale qui peut être divisée en trois causes fonctionnelles (problèmes organisationnels, système d'information et de tableau de bord). Les sous problèmes liés aux différentes causes fonctionnelles (manque de lit, manque d'effectif, retards dans les services, manque de prévision,…) se sont situés dans un niveau hiérarchique plus bas dans l'arbre causal. Ces niveaux représentent les degrés d'implication de chaque cause dans les nœuds situés dans les niveaux les plus élevés. Les nœuds qui se trouvent dans le niveau le plus bas sont considérés comme les feuilles de cet arbre qui représentent les causes formelles.

Notre démarche d'analyse des problèmes liés aux différents aspects de l'analyse de l'existant en se basant sur le cas d'étude (l'hôpital Hôtel Dieu) nous a conduit à spécifier trois classes de problèmes (figure 1.1) :

1. Problèmes organisationnels : ils sont en relation directe avec le dimensionnement des ressources matérielles et humaines, l'affectation de ressources à des tâches, l'ordonnancement et la planification.
2. Problèmes de système d'information : il s'agit de pouvoir coordonner les tâches, la communication, les événements aléatoires (retard, pannes, absence,…).
3. Problème de tableau de bord : il dépend des outils de prévision dédiés aux utilisateurs pour les aider à prendre des décisions.

Il convient de remarquer que la majorité des travaux étudiés concerne les blocs opératoires et l'imagerie.

L'hôpital doit faire face à un certain nombre de difficultés définies par Pascal [Pascal, 2000] comme : « cloisonnement et segmentation trop forte des activités, hiérarchie trop lourde, manque de cohérence dans les paramètres de l'organisation hospitalière, démotivation des personnels, fonctions de production non optimales, problèmes de circulation de l'information ». Pour faire face à la complexité des problèmes de gestion hospitalière par secteur, entité ou service. Moisdon et Tonneau [Moisdon et al, 1999] distinguent cinq grands secteurs dans la composition d'un hôpital : les services cliniques, de consultation, le plateau technique, le secteur logistique et le secteur administratif.

Actuellement, les hôpitaux cherchent à réduire au minimum les coûts par la réduction des durées du séjour des patients afin d'améliorer l'utilisation des ressources par l'élimination des périodes à vide des centres de ressources. Le système hospitalier est un système complexe, parce qu'il un grand nombre d'entités et un nombre important de flux entre les services : flux humains (patients, infirmiers, agents, …), flux matérielles ou de matières (chariot, fauteuil, pansement, …), flux d'information (dossier patient, planning, coût, …). Pour ces raisons plusieurs chercheurs se sont intéressés aux systèmes hospitaliers. Certains d'entre eux ont travaillé au sujet de la planification des blocs opératoires [Kharraja et al, 2004], [Guinet et al, 2004] pour réduire la période de travaille du personnel ou améliorer le taux de remplissage des blocs. D'autres auteurs se sont intéressés pour l'attribution de ressource [Jbali et al, 2004], [Visser 1998], [Jaumard, 1998]. D'autres ont travaillé à la chaîne d'approvisionnements de l'hôpital [Lapierre et al, 1999] pour améliorer les pratiques logistiques dans l'hôpital français. La modélisation et de simulation des systèmes hospitaliers ont été appliquées aux services des urgences [Arbiba et al, 2004], [Dussauchoy et al, 2004], [Ramis, 2001], [Centeno, 2001] ont employé la simulation à événement discret pour résoudre des problèmes de dimensionnement des ressources. Précédemment, le LIMOS [Combes, 1994] a conçu et réalisé un environnement de modélisation ASCI (analyse, spécifications, conception, implantation) dédié aux systèmes hospitaliers.

Gascon et phillipe Michelon [Gascon et al, 1997] : étudient le problème de l'affectation de tâches à des brancardiers. Chaque tâche possède les caractéristiques suivantes : une fenêtre temporelle : date de prise en charge au plus tôt, date de décharge au plus tard , une durée, un lieu de prise en charge et un lieu de décharge. L'objectif est de minimiser d'une part les temps d'inactivité des brancardiers et d'autre part le nombre de brancardiers. Ce problème peut se modéliser sous la forme de tournée où les brancardiers représentent les véhicules et les tâches ainsi que les chargements à transporter. La distance entre la date de décharge d'une tâche et la date de prise en charge d'une deuxième tâche peut assimiler à une distance entre la ville de livraison et la ville de chargement. Les auteurs proposent une heuristique de résolution en deux étapes : une étape d'ordonnancement des tâches et une d'affectation des tâches à des brancardiers. L'étape d'ordonnancement trie les tâches par ordre croissant des dates de livraison, à valeurs égales de dates de livraison par ordre décroissant des durées des tâches, à valeurs égales de dates de livraison et de durées par ordre croissant des dates de prise en charge. L'étape d'affectation attribue les tâches ordonnées au premier brancardier libre (règle FAM : First Available Machine). A noter que les pauses et repas sont modélisés sous la forme de tâches particulières.

Le système hospitalier français s'est engagé dans une démarche de réorganisation profonde. Selon ROLLINGER [Rollinger, 1997] « *la diminution des dépenses de santé accentue encore cette métamorphose* ». Les services techniques et logistiques des hôpitaux et les services généraux constituent des activités indispensables au bon fonctionnement de la chaîne de soin du patient. Les personnels qui les composent contribuent de façon essentielle au bon fonctionnement du service public hospitalier pour connaître et gérer les flux physiques au plus près des services de soins : mieux prévoir, mieux acheter, mieux approvisionner, mieux distribuer.

Le service pharmacie est à l'intersection des flux des produits pharmaceutiques (médicaments, dispositifs médicaux, objets de pansements et équipements), selon DELOMENIE [Delomenie, 1996]. Ce service représente près de 15% du budget de l'hôpital. Sa maîtrise et sa rentabilité sont donc vitales et passent par une productivité forte ainsi qu'une utilisation efficace des ressources pour améliorer la qualité des soins. Il convient d'optimiser l'organisation des flux physiques et d'information, de mieux répondre aux attentes des

utilisateurs des prestations de service, de favoriser la qualité, la sécurité, la traçabilité, de minimiser les coûts. Notre étude sur l'organisation du service de la pharmacie, porte sur le dimensionnement en ressources humaines, en équipements, leur stratégie d'utilisation, la structure de fonctionnement à mettre en place et les règles de fonctionnement (gestion) à respecter.

Dans ce contexte, l'hôpital Hôtel Dieu s'est engagé dans une démarche approfondie de modification et d'amélioration de sa chaîne logistique et de ses infrastructures (bâtiment, équipement, logiciel de gestion, etc.) et ceci aussi bien sur l'aspect organisationnel que sur l'aspect de la gestion des flux. L'hôpital doit formaliser ses processus internes (planification, préparation de commandes, distribution, etc.) et externes (interaction avec les fournisseurs et la plate-forme de l'hôpital Gabriel Montpied. La remise en cause des pratiques s'opère dans le secteur logistique par la modification des organisations et l'intégration physique de plate-forme afin de réduire les coûts d'exploitation. La recherche d'optimalité est multicritères, elle doit prendre en compte les aspects économiques, de productivité, mais aussi les aspects de qualité et de gestion des risques pour les patients, les infirmiers et les praticiens. Elle pose enfin la problématique des outils de la conduite de cette transformation. Les outils doivent permettre l'évaluation et la validation des choix stratégiques en termes de nouvelles infrastructures et d'organisations qui doivent être mises en place. Cette nouvelle transformation lourde d'investissements, pose la problématique de l'évaluation de la performance des organisations, et de l'objectivation de la pratique. Elle pose aussi la problématique des outils d'aide à la décision pour la gestion prévisionnelle et opérationnelle.

La réorganisation de la chaîne logistique hospitalière pose de nombreux problèmes techniques propres à la spécification fonctionnelle d'une infrastructure possédant des caractéristiques spécifiques dues à la nature des flux de patients, de personnels, et des produits logistique comme médicaments, dispositifs médicaux stériles, produits hôteliers et déchets. On peut citer certaines contraintes :

- Moins de standards et plus de spécifique, on ne sait pas quand se présente la demande de soins et les processus de production du soin reste spécifique pour chaque patient ;
- Encadrement administratifs/législatifs, disponibilité des ressources matérielles et humaines ;
- La multiplicité des acteurs pose le problème de coordinations difficiles dues à des prises de décision par des personnes qualifiées ayant des visions, des objectifs et des intérêts différents ;
- Présence constante de l'incertain sur la durée de chaque activité et de l'incertain sur la suite des activités à effectuer (patient, personnel soignant). Ces contraintes avec l'augmentation des activités logistiques impliquent :
- La recherche des dysfonctionnements,
- La spécification d'outils de gestion des activités,
- L'évaluation de stratégies d'utilisation des ressources (optimisation du temps de travail et de la circulation des flux).

La nature des métiers d'un centre hospitalier impose à cette étude de prendre en compte certaines contraintes de flux. Il est important de distinguer un circuit propre et un circuit sale, ceci pour intégrer les contraintes d'hygiène fortement présentes dans le contexte médical. De plus, il est nécessaire de rechercher une séparation des trajets suivis par le personnel hospitalier et les trajets utilisés par le reste des flux de personnes (visiteurs, représentants, fournisseurs,…) afin d'éviter d'éventuels conflits. Finalement il convient d'intégrer une contrainte forte, qui n'est pas une exclusivité du système hospitalier : la résistance au changement. En effet, tout changement d'organisation doit être accompagné d'informations et de formations. Mais il doit aussi respecter le contexte et l'histoire d'une organisation qui lui est propre à la culture de l'entreprise [Franschisteguy, 2001].

Dans la thèse de Tahar HASSAN « logistique hospitalière : organisation de la chaîne logistique pharmaceutique avale et optimisation des flux de consommables et de matériels à usage unique » soutenue en 2006, les problématiques suivantes ont été abordées :
- Dysfonctionnements au niveau du dimensionnement des activités en analysant les flux des produits pharmaceutiques et agencement des locaux de stockage ;
- Dysfonctionnements au niveau de l'organisation et de l'identification de la chaîne logistique de l'hôpital ;
- Dysfonctionnements au niveau de la gestion des approvisionnements, de gestion des stocks et de l'estimation des besoins.

Aussi par analogie avec des systèmes de production, d'autres problèmes des systèmes hospitaliers émergent : Les problèmes industriels nécessitent de faire appel à des domaines de résolution divers et variés. À titre d'exemple, la résolution d'un problème d'ordonnancent sur une ligne de fabrication, fait apparaître la nécessité de collecter l'information, de la structurer et de la représenter afin d'en permettre une modélisation. Puis dans un second temps, après en avoir construit un modèle, on pourra l'exploiter, ceci permettant sa résolution proprement dite. La conception d'un système fait intervenir l'analyse du processus de fabrication, qui permet de fournir une première estimation des moyens matériels à mettre en œuvre, puis des moyens de transport et de stockage, afin de répondre aux cadences des machines et au mode d'organisation de l'atelier. Il s'agit ensuite de s'intéresser aux problèmes d'agencement problème également soulevé lorsque a posteriori on souhaite revoir la topologie d'un système existant. Il arrive souvent que plusieurs solutions soient envisageables. Dans ce cas, il s'agit d'évaluer et de considérer l'ensemble de ces solutions afin de choisir la meilleure solution en fonction des objectifs donnés (coût, extension future possible, etc). On retrouve alors les problèmes de compréhension du fonctionnement du système, de dimensionnement et d'agencement.

Lors de la production, les problèmes rencontrés sont nombreux. La productivité d'un atelier est liée à deux facteurs : les moyens physiques qu'il contient et surtout les décisions qui sont mises en œuvre pour réaliser les différentes activités. Les moyens physiques doivent être performants et flexibles ; les décisions ou règles de gestion doivent administrer au mieux les différentes ressources. Cela consiste à gérer la production dans un minimum de temps en utilisant un minimum de ressources, c'est-à-dire planifier les moyens et la production. Plus généralement, gérer un système industriel de production, c'est parvenir à décider dans le détail, des tâches à accomplir, des ressources à utiliser pour accomplir ces tâches, et des instants où ces tâches vont débuter [Chu et al, 1990].

La planification d'un système peut être réalisée sur plusieurs niveaux [Van Looveren et al, 1986], à savoir les niveaux stratégiques, tactiques et opérationnels. Ces trois niveaux sont souvent abordés de façon disjointe et ceci n'est pas sans posé des problèmes lors du passage d'un niveau à son niveau inférieur. Ces trois classes de décisions ne diffèrent pas seulement par l'horizon qui les caractérise de prime abord. Deux éléments supplémentaires doivent être pris en compte : le niveau de compétence hiérarchique et celui d'agrégation de la décision. En effet, les décisions opérationnelles sont normalement prises par des agents de maîtrise ou des agents d'exécution, même si celles-ci sont préparées par des cadres (constitution de tables, d'abaques ou de consignes diverses permettant de donner rapidement la réponse jugée appropriée à une situation donnée). Les décisions tactiques sont en général du ressort des cadres et les décisions stratégiques relèvent de la direction de l'entreprise (assistée, bien entendu, de ses principaux cadres). Par niveau d'agrégation de la décision, il faut entendre le niveau de détail des décisions prises quant aux productions à effectuer et aux moyens à mettre

en oeuvre. Le niveau d'agrégation sera d'autant plus grand que l'horizon de la décision est éloigné.

La plupart des problèmes énoncés imposent le plus souvent d'évaluer le comportement du système face à des hypothèses. Le comportement du système est appréhendé par des valeurs nommées critères de performance. Évaluer signifie « déterminer une quantité par le calcul sans avoir recours à la mesure directe » [Leroudier, 1980]. Ces critères de performance sont nécessaires à toute prise de décision. Les objectifs associés à l'évaluation des ces critères sont divers : augmenter la productivité, réduire les en-cours, diminuer les changements d'outils, etc. Parfois antagonistes, les critères caractérisent le système soumis à une certaine charge, et c'est au travers des résultats fournis que l'utilisateur pourra juger de la performance de son système en fonction des objectifs recherchés. Notons que la détermination des critères de performance est un problème en soi. L'évaluation de ces critères s'effectue sur des modèles, qui peuvent être de différentes natures, qui peuvent fournir des valeurs optimales ou approchées. Les parties suivantes précisent les notions de systèmes et modèles et introduisent les principaux modes d'organisation rencontrés dans les entreprises.

Plusieurs articles présentent des travaux sur les enjeux de la gestion hospitalière et les apports possibles de la gestion de production [Drucker, 2000], [Butler, 1996], [Lagergren, 1998]. Un système de production pose, aussi bien lors de sa conception que durant son exploitation, un certain nombre de problèmes. Les principaux problèmes rencontrés sont : des problèmes de dimensionnement, de planification, de compréhension du fonctionnement interne, de spécification des règles de gestion, de prise en compte des phénomènes aléatoires et d'évaluation des performances. Certains travaux traitant les problèmes de dimensionnement des ressources, ont été effectués dans le domaine hospitalier. [Ramis, 2001] a étudié l'utilisation de la simulation pour le dimensionnement des ressources nécessaires pour un centre de chirurgie ambulatoire au Chili. Beaucoup de travaux ont été élaborés pour traiter les problèmes d'allocation de ressources dans le milieu hospitalier. Plusieurs articles rédigés par des chercheurs du milieu médical ont retenu notre attention. Ils présentent des outils de résolution des problèmes aussi bien que des recommandations. [Vissers, 1998]. Les hôpitaux cherchent à minimiser les coûts par la réduction des durées de séjour des patients afin d'améliorer l'utilisation des ressources par élimination des périodes d'inactivité des centres de ressources.

1.1 Dimensionnement

Pour une charge donnée (lot de produit à traiter, …) le dimensionnement consiste à déterminer la qualité et le type de ressources nécessaires ainsi qu'une topologie acceptable afin d'assurer le bon fonctionnement du système hospitalier. Par exemple, on cherche à déterminer la taille des stocks, nombre de personnes médicales et paramédicales pouvant effectuer le même type d'opération, le nombre de ressource de transport, le type des ressources matérielles ou humaines.

1.2 Ordonnancement

Définition1 : [Rodammer et al, 1988] ordonnancer (ou planifier) le fonctionnement d'un système hospitalier consiste à gérer l'allocation à des ressources au cours du temps, tout en satisfaisant au mieux un ensemble de critères.
Définition 2 : ordonnancer c'est programmer l'exécution d'une réalisation en attribuant des ressources aux tâches et en fixant leurs dates d'exécution. Les problèmes d'ordonnancement appariassent dans tous les domaines de l'économie : l'informatique (tâches = jobs, produits, pièces,… et ressources =processeur mémoire, machines,…).

1.3 Compréhension du fonctionnement interne et spécification des règles de gestion

Pour assurer au système un fonctionnement satisfaisant il faut :
- Spécifier de bonnes politiques de gestion (gestion des ressources de transport, gestion des stocks, gestion de l'utilisation des machines,…),
- Mieux gérer les ressources critiques.

Des règles de gestion classiques peuvent être utilisées mais d'autres règles spécifiques au problème peuvent être proposées. Panwalker et Iskander, [Panwalker et al, 1997] ont référencé 113 règles différentes. Les règles les plus connues sont :

- FIFO First In First Out : les produits sont ordonnancés dans l'ordre d'arrivée dans le stock.
- LIFO Last In First Out : les produits sont ordonnancés dans l'ordre inverse d'arrivée dans le stock.
- SPT Shortest Processing Time : les produits sont ordonnancés dans l'ordre croissant des temps de traitement dans l'étage.
- LPT : Longest processing Time : les produits sont ordonnancés dans l'ordre décroissant des temps de traitement dans l'étage.
- LWR Least Work Remainning : les produits sont ordonnancés dans l'ordre croissant du cumul des temps de traitement restants.
- MWR Most Work Remainning : les produits sont ordonnancés dans l'ordre décroissant du cumul des temps de traitement restants.

1.4 Prise en compte d'événements aléatoires

Parmi les événements aléatoires on trouve :

- Les pannes des machines et des ressources de transport,
- Les temps de traitements
- L'arrivée inattendue d'une commande prioritaire
- Les dates d'arrivée des produits inconnues.

1.5 Evaluation des performances

La résolution des problèmes énoncés précédemment nécessite le plus souvent le calcul ou l'évaluation de critères de performances (quantitatifs ou qualitatifs). Lorsque le système le permettent (stock de capacité illimitée, pas d'événement aléatoire,…) certains critères de performance peuvent être calculés par un modèle mathématique ou un simple algorithme. Mais lorsque les contraintes deviennent plus fortes (stocks de capacité limitée, dates d'arrivée aléatoires des produits,…), il devient nécessaire de construire un modèle plus ou moins complexe du système étudié. Les problèmes qui ont été résolus et présentés dans la littérature des systèmes hospitaliers sont : le contrôle des admission des patients, la planification de l'occupation des lits d'hospitalisation, la planification du personnel, la planification des blocs opératoires, la planification des ressources au sein de l'hôpital, l'amélioration de la qualité de service, la modélisation et la simulation d'une filière d'urgence, la chaîne logistique avec des flux financiers, les problèmes liés au dimensionnement de la stérilisation ainsi que la pharmacie et le service imagerie, le problème d'allocation des patients.

Notre thèse aborde les problèmes organisationnels et de tableau de bord, il s'agit de traiter le dimensionnement des ressources matérielles (chariot repas, armoire,…) et humaines (médecin, patient, infirmier, brancardier,…), l'affectation des ressources à des tâches, la coordination des tâches en se basant sur la modélisation du le pôle imagerie et du pôle logistique du nouvel hôpital de Clermont Ferrand (brancardage, pharmacie, blanchisserie, restauration et stérilisation). On s'intéressera également à l'évaluation des performances de ces deux pôles en utilisant la technique de simulation. On s'est focalisé sur

l’utilisation d’outils efficaces (ARIS, SIMULA, WITNESS, QNAP2). Les problèmes étudiés dans le cadre de notre thèse n’ont pas été traités avant pour cela on a cherché à innover dans le domaine des systèmes hospitaliers en se basant sur le cas de l’hôpital Hôtel Dieu.

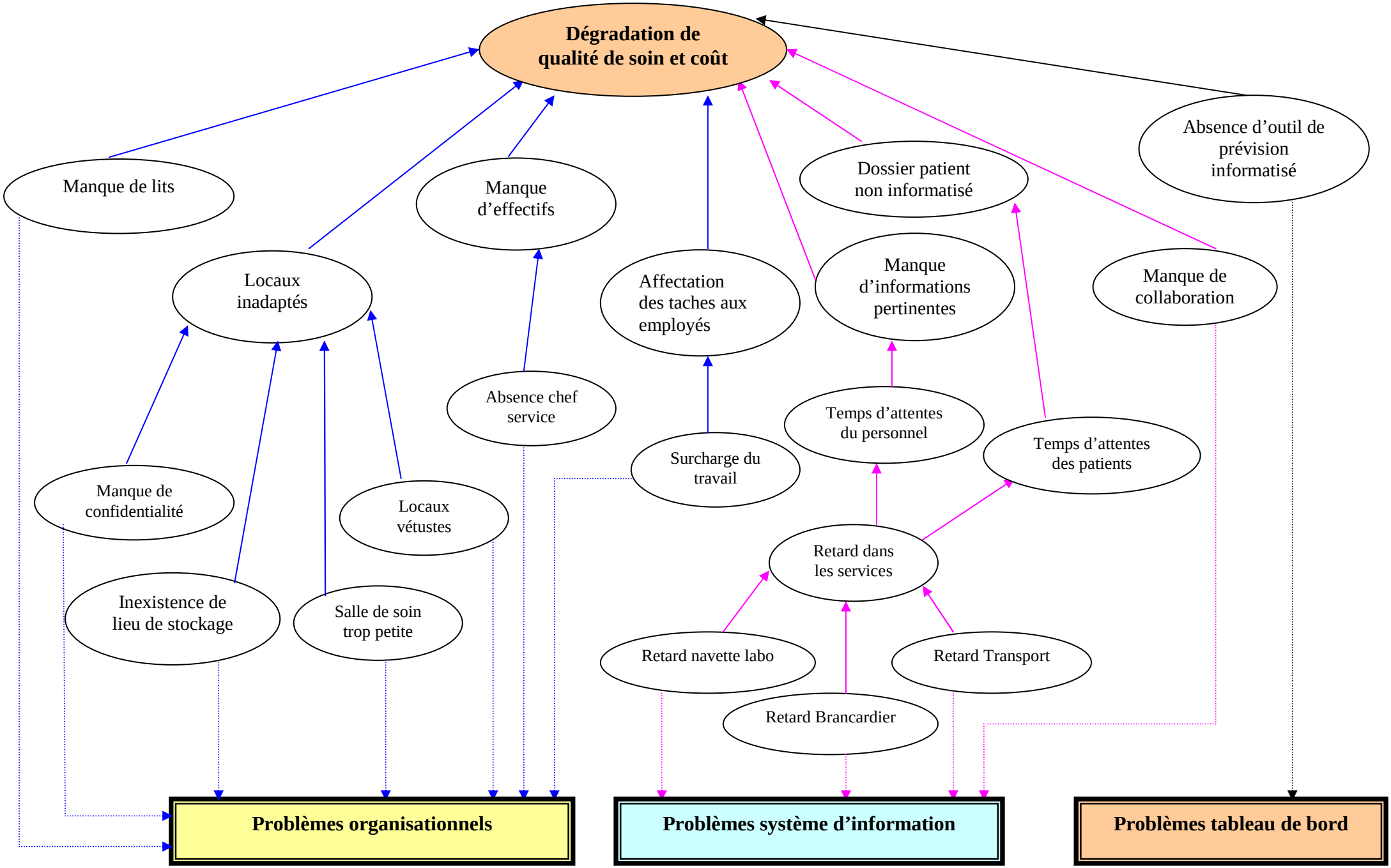


Figure 1.1 : Arbre causal.

3. Techniques de résolution des problèmes posés par les systèmes hospitaliers

Dans le cadre du projet NHE, la mise en place d'une nouvelle organisation constitue une solution pour l'organisation de l'hôpital (locaux neufs, nouveaux matériel, …), ainsi la mise en place du système zéro papier constitue une autre solution pour le système d'information hospitalier (informatisation de l'ensemble des services de l'hôpital). La mise en place de tableaux de bord est aussi un objectif du projet NHE.

Nous exposons ensuite un bref aperçu de méthodes de résolution déjà utilisées pour des problèmes posés par les systèmes hospitaliers.

Plusieurs travaux de recherches dans le domaine hospitaliers ont résolu leurs problèmes par des méthodes et outils généralement utilisés dans les systèmes de production de biens. [Artiba et al, 2004] ont utilisés pour résoudre les problèmes de réorganisation et de fonctionnement des systèmes hospitaliers les techniques de modélisation et de simulation, pour cela ils ont utilisés les approches MECI et ALIX.
[Féniès et al, 2004] ont utilisés les techniques d'évaluation de la performance hospitalière pour résoudre leurs problèmes de fonctionnement de la logistique hospitalière et du bloc opératoire, ils ont utilisés l'outil ARIS couplé avec la conception, l'implantation et l'utilisation de tableau de bord afin d'améliorer les performances du processus opératoire ainsi que la logistique hospitalière.
Pour cela nous avons inspirés de ces méthodes et outils de résolution des problèmes des systèmes hospitaliers que nous avons traités dans notre thèse nous sommes limité à des techniques d'évaluation par simulation.

4. Conclusion

Les techniques de résolution utilisées pour résoudre les problèmes posés par les systèmes hospitaliers la plupart des travaux ont utilisés des outils et méthodes des systèmes de production. Dans ce qui suit nous allons essayer de résoudre les problèmes rencontré au cours de notre thèse a des technique d'évaluation par la simulation.

CHAPITRE II

ETAT DE L’ART

1. ÉTAT DE L'ART SUR LES SYSTÈMES HOSPITALIERS

Le deuxième chapitre présente un état de l'art décomposé en sept parties : dans la première nous introduisons la problématique plus détaillée des systèmes hospitaliers et nous présentons quelques travaux déjà effectués. Dans la deuxième, nous étudions le système hospitalier français. Nous avons travaillé en étroite collaboration avec un centre hospitalier universitaire, nous le présentons ainsi que le projet du nouvel hôpital d'Estaing (NHE), sa nouvelle organisation et ses principaux objectifs. La troisième section nous présentons un état de l'art sur la modélisation et ses différentes approches. La modélisation et l'évaluation des performances apparaissent comme des démarches efficaces mais utilisant des outils complexes et difficiles à acquérir. Dans la quatrième section nous évoquons la définition d'un environnement de modélisation. Une étude bibliographique recense les principaux avantages et inconvénients des environnements existants. Les outils et méthodes mis en œuvre pour l'obtention de modèles sont présentés. Nous justifions ainsi, l'utilisation d'une démarche systémique et d'une approche orientée objets pour l'analyse des systèmes hospitaliers, ainsi que nécessité d'un guide méthodologique pour les utilisateurs de l'environnement. En conséquence, nous présentons les outils de spécification et les méthodes d'analyse afin de définir un cahier des charges complet pour la conception d'un environnement de modélisation destiné à la classe des systèmes hospitaliers. La cinquième section est consacrée à la démarche méthodologique que nous avons adaptée. La sixième section présente un état de l'art sur la simulation : concept de base, langages de simulation, différents types de simulation. Dans la dernière section nous présentons la définition de l'analyse de résultat. Cette première section de ce chapitre nous permet de donner une vue plus détaillée sur les systèmes hospitaliers, nous commençons par définir un état de l'art sur les systèmes hospitaliers nous sommes intéressés au management, dimensionnement des ressources, à l'allocation des ressources, à la logistique hospitalière et au système d'information hospitalier. Ensuite, nous réalisons un bilan sur les travaux du groupe GISEH « Gestion et ingénierie des systèmes hospitaliers ».

1.1. Introduction

La définition d'un hôpital, donnée dans le dictionnaire est : l'hôpital est un établissement aménagé de manière à pouvoir dispenser tous les soins médicaux et chirurgicaux. Cette définition est très restreinte et actuelle. L'hôpital a connu une évolution historique, il est passé d'un établissement religieux au XIIième siècle à un établissement public au XIXième siècle. Aujourd'hui, le mot hôpital recouvre parfois l'ensemble des établissements d'hospitalisation, parfois il se limite aux établissements publics, parfois encore aux établissements de dotation globale [Teil, 2002]. L'hôpital se voit aujourd'hui attribué une mission d'amélioration de la santé de la population. Cette mission est très importante, d'une part au niveau social on défend l'idée que la santé n'a pas de prix, d'autre part l'hôpital, pour réaliser cette mission, a un coût et il apparaît en tant que gros consommateur de ressources par rapport à ses résultats sur la santé de la population [Teil, 2002]. L'hôpital doit faire face à un certain nombre de difficultés définies par Pascal [Pascal, 2000] comme : « cloisonnement et segmentation trop forte des activités, hiérarchie trop lourde, manque de cohérence dans les paramètres de l'organisation hospitalière, démotivation des personnels, fonctions de production non optimales, problèmes de circulation de l'information ». Pour faire face à cette complexité de fonctionnement les travaux entrepris à ce jour et rencontrés dans les littératures traitent les problèmes de gestion hospitalière par secteur ou entité ou service au sein de l'hôpital. Moisdon et Tonneau distinguent cinq grands secteurs dans la composition d'un hôpital [Moisdon, 1999] : les services cliniques, les services de consultations, le plateau technique, le

secteur logistique et le secteur administratif. Kharraja [Kharraja, 2003] classifie ces cinq secteurs en deux catégories, les trois premiers secteurs sont des secteurs concernés par la trajectoire du patient et les deux derniers par les secteurs d'appoint et de support. Les travaux présentés dans ce chapitre sont classés selon quatre thèmes : management des systèmes hospitaliers, système d'information hospitalier, logistique hospitalière, modélisation et simulation des système hospitaliers, dimensionnement des ressources et allocation des ressources.

1.2. Management des systèmes hospitaliers

D'après Drucker [Drucker, 2000] la tâche fondamentale du management est de rendre les individus capables de performances collectives en leur donnant des objectifs coordonnés, des valeurs communes, la structure adéquate ainsi que la formation et le développement continus dont ils ont besoin pour être performants et réagir au changement. Le management des systèmes hospitaliers (SH) n'échappe pas à cette définition. Des travaux ont particulièrement attiré notre attention dans le cadre du management des SH. Ils présentent les enjeux de la gestion hospitalière et les apports possibles de la gestion de production ou plus généralement du management. Ces dernières décades de nombreuses applications de la modélisation dans le secteur hospitalier ont été entreprises. Ces modèles sont utilisés pour la prévention, la recherche de prédominances et l'étude de la mortalité des ensembles de maladies chroniques ou de maladies spécifiques telles que les maladies cardio-vasculaires. D'autres modèles concernent la conception des systèmes de soins pour estimer les futurs en ressources ont été développés.

Les modèles sont aujourd'hui de plus en plus développés comme support d'analyse et de prise de décision dans les pratiques médicales. Les travaux de Lagergren [Lagergren, 1998] portent effectivement sur l'apport de la modélisation dans la gestion des milieux hospitaliers. La modélisation permet de comprendre le fonctionnement d'un système donné et de prévoir ses réactions face aux différents changements auxquels le système est confronté. Les modèles développés dans ce cadre fournissent la possibilité d'étudier des systèmes non encore existants, de prévoir les conséquences complexes de décisions ou de développements et ils permettent la réalisation virtuelle de tests impossibles ou trop coûteux à effectuer dans la réalité.

Depuis 1980, le besoin en modèles décrivant des listes d'attente de patients et projetant les conséquences d'allocation des ressources est de plus en plus important. Dans ce cadre de Vries et al. [Vries, 1998] présentent un modèle dynamique minimisant le temps d'attente des patients pour les admissions dans les services de soins. Ils retiennent l'exemple des listes d'attente des personnes âgées en psychiatrie. Le modèle permet :

- De traiter quelques aspects dynamiques d'attente pour les unités de soins ;
- D'estimer l'horizon de la liste d'attente ;
- D'estimer le temps d'attente moyen à ne pas dépasser suite à des changements imprévus sur les principaux paramètres du modèle tels que le nombre de lits disponibles ou le nombre potentiel de patients ;
- De discuter en avance des différents scénarii tels que la réduction du nombre de lits planifiés où la croissance en nombre de patients à prendre en charge.

Dans une liste d'attente les variables les plus importantes à prendre en considération sont d'après l'auteur : le temps d'attente moyen et la longueur de la liste d'attente. Le modèle a été utilisé dans un premier temps en 1991 dans un rapport consultatif ayant pour objectif d'estimer le nombre de lits nécessaires pour la région de la Hague pour les décades à venir.

Une deuxième utilisation du modèle a été entreprise en 1992 pour examiner le nombre de lits nécessaires afin de réduire le temps d'attente moyen dans la région de la Hague. Il est vrai que ce modèle aide à prendre des décisions concernant le nombre des lits à prévoir et à estimer des temps moyens d'attentes mais des changements dans les politiques de soins peuvent causer des effets non prévus sur les résultats du modèle.

Au 21ème siècle, les systèmes de santé en Europe connaissent et connaîtront certainement encore beaucoup d'évolution [Royston, 1998] a identifié dans le SH quatre principaux ajustements qui s'expriment ainsi :
- Quand le soin est-il délivré ? « c'est l'ajustement entre la prévention et le traitement » ;
- Où le soin est-il délivré ? «c'est l'ajustement entre un soin institutionnel et un soin de communauté» ;
- Comment le soin est-il délivré ? « c'est l'ajustement entre les besoins de traitement du patient et l'offre des professionnels ».

La recherche opérationnelle a permis de répondre à des ajustements analogues dans d'autres systèmes. L'auteur essaie de voir les possibilités d'adapter les outils de la recherche opérationnelle pour aider à ces ajustements dans le contexte des systèmes de soins européens. Il insiste enfin sur le fait que ces points d'ajustement contribuent à évoluer d'une façon plus large, plus rapide et plus importante.

D'autres auteurs ont travaillé sur d'autres domaines comme Li [Li, 1997] qui se sont intéressés à la recherche des facteurs influant en gestion de la qualité et en performance qualitative au niveau des établissements de soins. Ces facteurs se déclinent de la façon suivante :
- Implication de la direction générale : le niveau de qualité doit être promu par elle ;
- Organisation coopérative : la gestion de la qualité nécessite des coordinations horizontales entre les plates-formes médico-techniques et les services (radiologie, bloc opératoire, logistique, …) ;
- Technologie : les progrès en technologie médicale et informatique amplifient la portée des actions du personnel ;
- Attentes des patients : ces attentes doivent être prise en compte dans la définition des services ;
- Traitement de l'information ;
- Développement de l'expertise.

1.3. Systèmes d'information hospitaliers

Les systèmes d'information (SI) s'imposent actuellement comme un élément stratégique pour l'entreprise tant dans sa recherche d'efficacité organisationnelle que dans sa recherche de compétitivité sur les marchés. Les hôpitaux se rendent progressivement compte des effets positifs d'un SI. Ils réalisent en effet que la maîtrise des flux informationnels concernant le patient améliore sa sécurité, et qu'un outil de gestion de l'information permet de décloisonner une organisation connaissant des problèmes de communication non seulement entre services mais également au sein d'un même service. Par ailleurs, la mise en œuvre d'un SI approprié peut engendrer une meilleure connaissance de l'activité [Romeryer, 2000]. La communication de Romeryer et Bongiovanni a étudié comment certains hôpitaux publics français en arrivent à développer des SI caractérisés par une traçabilité des activités du personnel médico-soignant leur permettant d'assurer une continuité au niveau de la prise en charge des patients. Les auteurs distinguent deux types de SI : SI centrés patients et SI centrés activités (SICA). Un SICA repose sur une traçabilité de toute l'activité générée autour du patient. Ils permettent de

connaître l'activité et d'avoir des données nécessaires à la modélisation et la simulation des systèmes hospitaliers afin d'objectiver certaines décisions organisationnelles ou opérationnelles.

La mise en place d'un système de suivi d'activités dans un service de chirurgie ambulatoire a permis, grâce à la saisie de 17 temps, de construire 11 durées d'activité correspondant aux 11 étapes du processus du soin [Rotondi, 1997]. La variabilité des durées est due aux deux raisons suivantes : la diversité des procédures opératoires qui sont réalisées ou le manque d'organisation et de synchronisation du flux de patients. Ce système a permis l'évaluation de taux d'utilisation des salles d'opérations. Lapierre et al. [Lapierre, 1999a] proposent une stratégie pour construire un système de mesures évaluant les temps de délivrance des soins dans les organisations de soins afin d'identifier les retards et leur différentes sources. Ces retards dans la délivrance de soin provoquent le stress et la non satisfaction des patients. Plusieurs traitements et interventions dans les systèmes de soins nécessitent non uniquement un soin mais une série de soins.

Le problème d'un tel indicateur de performance mensuel est qu'il n'informe pas sur l'amélioration des réductions des retards au cours des semaines. Lapierre et al. ont décidé de réanalyser les données recueillies. Ils ont proposé un nouvel indicateur de performance à suivre, à savoir la durée des retards par intervention et non le fait d'être en retard ou non. Il existe différentes sources de retard. Pour les mesurer les auteurs proposent un modèle utilisant la fonction de Bernoulli et ils étudient ensuite le cas du « West Paces Medical Center ». Une première interprétation de ce cas d'étude indique que les chirurgiens sont les sources des retards. Ceci n'est pas surprenant pour la majorité des hôpitaux. La démarche de Pareto suggère de concentrer le travail sur les chirurgiens afin d'améliorer l'exécution des interventions. Mais en observant d'une façon dynamique le déroulement des interventions nous nous trouvons face à de mauvaises interprétations des données et des conclusions erronées. En premier lieu les auteurs nous proposent de comprendre la relation entre les différentes sources à prendre en considération, c'est-à-dire les chirurgiens, les anesthésistes, les infirmiers, les équipements et les patients. Par exemple, l'anesthésiste ne peut commencer sa procédure tant que le patient n'est pas dans la salle d'opérations et que les équipements nécessaires ne sont pas préparés par les infirmiers. De même le chirurgien ne peut pas commencer sa procédure avant la fin de l'anesthésie du patient. Il est bien clair que le chirurgien est au bout de la chaîne et que sa procédure dépend déjà de la ponctualité des autres sources qui le précèdent dans la chaîne.

Les résultats de cette interdépendance contredisent la démarche de Pareto amenant à la conclusion que les chirurgiens sont la principale cause de retard pour les premières interventions. Il faut donc identifier puis contrôler en priorité la première source de la chaîne. A partir de ces résultats, Lapierre et al. proposent des directives pour l'installation d'un système de mesures pour améliorer l'exécution à temps des premiers soins de la journée. Les étapes suivantes sont énumérées pour concevoir le système en question :

- Etape 1 : identifier les différentes sources de retard et les grouper en différentes catégories.
- Etape 2 : identifier une ou deux sources susceptibles d'entreprendre des changements, comme le personnel de l'hôpital, en utilisant une analyse statistique simple si les données du passé sont disponibles.
- Etape 3 : définir l'indicateur de performance qui explique au mieux la fonction de retard et résister aux différentes charges de variations sur différentes périodes.
- Etape 4 : commencer la collecte des temps de démarrage de toutes les ressources indépendamment.

- Etape 5 : calculer et représenter graphiquement l'indicateur pour des périodes de différentes longueurs comme une semaine, deux semaines et un mois. Identifier quelle période contient la plus importante information
- Etape 6 : incorporer les changements dans l'organisation et utiliser le système de mesures pour voir ses impacts sur la performance.

Dans les systèmes de soins, le système de mesures qui tente d'identifier et de contrôler la cause du plus grand retard, comme la démarche de Pareto suggère, est à proscrire. Une bonne connaissance des relations entre les différentes composantes du système est essentielle pour concevoir un système de mesures.

L'article [Gonzales-Martinez, 1997] présente un système d'ordonnancement et de suivi de la production dans un service d'urgences. Les fonctionnalités du système et les choix en terme d'interfaces (capteurs, actionneurs) sont décrits. En ce qui concerne la liste des fonctionnalités implantées, on trouve :

- La prévision de la demande basée sur l'exploitation d'un historique de l'activité du service à partir de modèles statistiques ;
- La tenue des données techniques qui consiste par exemple à mettre à jour les temps d'interventions à partir du suivi de l'activité ;
- L'ordonnancement des interventions aidant à l'affectation des ressources aux interventions et à l'agencement de ces dernières dans le temps, ceci à différents niveaux de décisions.

Wright et al. 1996 insistent tout d'abord sur la nécessité de disposer de données fiables et complètes afin de pouvoir réaliser une gestion prévisionnelle des blocs opératoires. Les données opératoires (durées, ressources, …) des actes en chirurgie dépendent fortement de l'adéquation de leur codification et de la richesse de l'historique des données. Ils précisent qu'un système de suivi de l'activité de bloc opératoire définit un préalable à toute action de sa gestion.

La réforme des soins médicaux, l'augmentation des coûts des soins et le développement du principe de gestion des groupes homogènes de diagnostiques DRGs ont nécessité la planification des interventions et le contrôle du système des livraisons hospitalières. Roth et Dierdonck, en 1995, proposent un système de gestion des ressources hospitalières à l'aide de la méthode MRP II (planification des ressources manufacturières). Ce système est nommé HRP (hospital resource planning). Il est basé sur le concept DRGs et le concept de planification MRP II. Le système HRP a été expérimenté dans deux hôpitaux : un hôpital régional possédant 300 lits et un hôpital universitaire possédant 100 lits. Les hôpitaux cherchent à minimiser les coûts par la réduction des durées de séjour des patients afin d'améliorer l'utilisation des ressources par élimination des périodes d'inactivité des centres de ressources. Les dysfonctionnements dans un système de soins sont généralement causés par les interventions qui commencent en retard et la propagation de ces retards. Les coûts d'accumulation de la demande sont évalués à plusieurs milliers de dollars dans les hôpitaux de taille moyenne.

1.4. La logistique hospitalière

De nombreux chercheurs se sont intéressés aux systèmes hospitaliers. Parmi eux : [Benanteur et al, 2000] a étudié la logistique hospitalière. Récemment de nouveaux travaux ont été effectués sur le nouvel hôpital d'Estaing (NHE), l'objectif principal était de modéliser et de simuler les différents pôles; [André, 2005] a modélisé et simulé des flux de la logistique du NHE ; [Gourgand et al, 2005] ont réalisé un modèle de simulation du brancardage; [Chauvet et al, 2005] ont étudié le management du NHE et réalisé avec ARIS un modèle de

connaissance. La logistique représente une part non négligeable des fonds d'exploitation d'un centre hospitalier (CH). Selon plusieurs études, entre 30 % et 46 % des dépenses d'un centre hospitalier sont investis dans diverses activités logistiques. Or, près de la moitié des coûts associés aux processus de gestion de la chaîne logistique pourraient être éliminés par l'adoption de meilleures pratiques.

Dans un établissement hospitalier, la logistique ne touche pas uniquement les services de soutien tels que les achats, les magasins et la pharmacie, mais également les services prodiguant des soins, comme les unités de soins et le bloc opératoire. En fait, plusieurs activités pouvant être accomplies par le personnel de soutien se retrouvent souvent sur la liste de tâches du personnel soignant. Cette situation fait en sorte que la chaîne d'approvisionnement interne d'un CH est souvent très fragmentée.

La logistique est un processus complexe. Tout d'abord, les intervenants varient selon le type de produits : par exemple, le magasin gère les fournitures médicales et de bureau, la pharmacie s'occupe des produits pharmaceutiques et le service alimentaire gère les activités de réapprovisionnement et de fabrication des divers produits alimentaires. Deux grandes méthodes de gestion sont employées par les centres. Certains produits sont gérés et entreposés dans les magasins (ou à la pharmacie) du CH, en attendant d'être envoyés aux divers services requérants : ce sont les produits en stock. D'autres produits sont plutôt commandés directement au service des achats par les services requérants; celui-ci s'occupera de l'acquisition, puis de la livraison au service requérant : ce sont les produits hors stock ou en achat direct, lesquels ne sont généralement pas conservés dans les magasins de l'établissement.

Les produits pharmaceutiques sont divisés en deux grandes catégories : les produits courants et les médicaments sous ordonnance. La distinction entre produits en stock et hors stock ne s'applique pas à ces derniers car toutes les demandes d'approvisionnement doivent obligatoirement passer par la pharmacie.

La figure 2.1.1 synthétise la relation entre les principaux intervenants et leur rôle en ce qui a trait au réapprovisionnement de deux types d'articles de premier plan, soit les fournitures médicales et les produits pharmaceutiques. Cette relation peut différer selon l'établissement. Par exemple, la pharmacie et les magasins commandent parfois leurs produits directement auprès de leurs fournisseurs. Toutefois, dans certains autres centres hospitaliers, les commandes sont lancées par le service des achats.

La figure 2.1.1 indique également à qui incombe la garde des stocks de fournitures médicales et de produits pharmaceutiques, de même que les deux types de flux du processus, soit le flux matériel et le flux informationnel. Ce sont ces flux qui sont étudiés dans le projet d'analyse comparative du processus de logistique hospitalière.

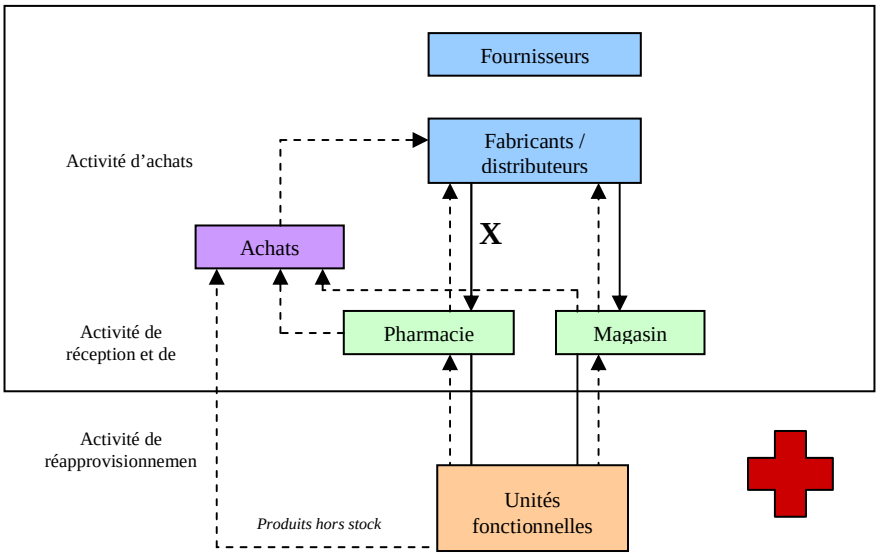


Figure 2.1.1 : La logistique hospitalière.

1.5. Modélisation et simulation dans les systèmes hospitaliers dans la littérature

Dans la littérature, les principaux problèmes étudiés dans les systèmes hospitaliers traitent de la modélisation, la simulation et l'optimisation des flux de patients. Les objectifs peuvent être de diminuer les temps de passage des patients, de concevoir et mettre en place un outil d'aide au dimensionnement et au pilotage de systèmes. Nous avons donc énoncé brièvement les principaux sujets d'étude avec leurs auteurs dans le tableau 2.1.1.

Problèmes	Auteurs
Modélisation, simulation et optimisation des flux patients	▪ Faure S., Dr Vermeulun B., Dr Wieser P., 2003 ▪ Hadges P., Bellou A., Grandhaye J-P, Bayad M. (2003) ▪ Lubicz M., Mielczarek B. (1987) ▪ Moreno L., Aguilar R. M., Piñeiro J. D., Estévez J. I., Sigut J. F. and González C. (1996) ▪ Syi Sua, Chung-Liang Shihb (2003) ▪ Valenzuela DT, Goldberg J., Keeley TK, Criss A E (1990)
Diminution des temps de passage des patients	▪ Navas J. F., Arteta C., Hadjes P. S., Jiménez F. (2004) ▪ Velin P., Alamir H., Babe P., Four R., Guida A. (2001)
Conception et mise en place d'un outil d'aide au dimensionnement, au pilotage des systèmes	▪ Combes C. (1994) ▪ Doheny J. G., and Fraser J. L. (1996)

Tableau 2.1.1 Les principaux sujets d'étude concernant les systèmes hospitaliers

1.6. Dimensionnement des ressources

Certains travaux traitant les problèmes de dimensionnement des ressources, ont été effectués dans le domaine hospitalier. Un des outils les plus utilisés est la simulation. Cette dernière, très employée dans le domaine industriel, est une technique qui permet, grâce à l'élaboration d'un modèle informatique des flux (de produits, d'informations, …), de reproduire (ou prédire) certains aspects du fonctionnement dynamique d'un système afin de répondre à des interrogations sur son fonctionnement. Le milieu hospitalier n'a pas échappé à l'application de cette technique pour étudier le fonctionnement de certains services (urgences, services de soins, blocs opératoires, hôpital de jour, …). D'autres travaux ont utilisé d'une façon générale

des méthodes et outils issus de la recherche opérationnelle (programmation linéaire, modélisation par la simulation, modélisation par filles d'attente, …).

Ramis et al. [Ramis, 2001] a étudiés l'utilisation de la simulation pour le dimensionnement des ressources nécessaires pour un centre de chirurgie ambulatoire au Chili. Les auteurs ont modélisé le processus patient tout au long de son séjour dans le centre de chirurgie ambulatoire. Le patient arrive le matin et part le soir d'une même journée. Son parcours a été identifié par les différentes entités composant le système par lesquelles il passe. On distingue quatre entités principales : l'infirmerie pour les admissions, les chambres de préparation et post interventions où les infirmiers préparent le patient avant son intervention et surveillent son état post interventionnel (après l'intervention), les salles d'opérations et enfin les lits de la salle de réveil. Les auteurs, grâce à cette identification du parcours patient, veulent modéliser l'utilisation des équipements futurs pour maximiser le nombre de patients admis et connaître les ressources nécessaires pour les interventions. Ils ont utilisé les données de cinq mois estimées par différentes distributions qui sont utilisées par le modèle mathématique. Ces données sont complétées et validées par les chirurgiens, les anesthésistes et les infirmiers du centre. Ils ont sélectionné 15 différentes pathologies afin de les étudier. Ils ont ensuite défini les durées suivantes : d'une part la durée de séjour dans la salle d'opérations et la durée de préparation du patient qui dépendent du type de pathologie, d'autre part la durée d'admission, la durée de nettoyage et la durée de réveil de patient qui sont les mêmes quel que soit la pathologie.

1.7. Affectation des ressources

De nombreux travaux ont été développés dans le domaine de l'affectation des ressources aux processus d'entreprise. La prise en compte des entités Humaines reste peu étudiée et le plus souvent elles ne sont considérées qu'en terme de capacité et de disponibilité. Cette vue est réductrice et ne tient pas compte des différentes potentialités des individus et groupes d'individus. L'analyse suivante nous permettra de positionner, en fonction des niveaux décisionnels de l'entreprise, les travaux menés sur l'affectation des ressources humaines, avant de définir clairement notre problématique de recherche.

Dans un premier temps, nous exposons comment se décline le problème de l'affectation de ressources dans l'entreprise. Après une description et une caractérisation classique de cette problématique, nous rappelons les techniques classiques de résolution utilisées. Dans un second temps, nous présentons un état de l'art détaillé du problème d'affectation des ressources humaines. Cette étude est ensuite synthétisée au travers de plusieurs classifications construites en suivant une démarche d'analyse structurée. Pour terminer, nous précisons le positionnement de nos travaux vis-à-vis des critères pertinents pour caractériser la problématique d'affectation des ressources humaines.

1.7.1 Affectation des ressources et niveau de décision : situation du problème

1.7.1.1 Rappels sur les niveaux de décision d'une entreprise

Généralement, trois niveaux de décision sont distingués au sein d'une entreprise (Figure 2.1.2). Le niveau stratégique qui est caractérisé par des prises de décisions à long terme (horizon de 2 ans [Giar, 2003]). On y fixe, d'une part, la politique générale de l'entreprise telle que sa localisation et le dimensionnement de sa structure et d'autre part, les objectifs technico-économiques en terme de qualité, coût, délai, sécurité, etc. Le niveau tactique qui se distingue par des prises de décisions à moyen terme (horizon variant de 6 à 18 mois [Giar,

2003]). On y définit une planification des différentes procédures à mettre en oeuvre pour atteindre les objectifs fixés au niveau stratégique. Enfin, le niveau opérationnel est caractérisé par des prises de décisions à court terme, horizon de quelques heures à un jour [Giar, 2003]. C'est à ce niveau que se situe l'ordonnancement réel de la production, où l'ordre d'exécution des tâches dans le temps et l'affectation des ressources mobilisées sont précisés.

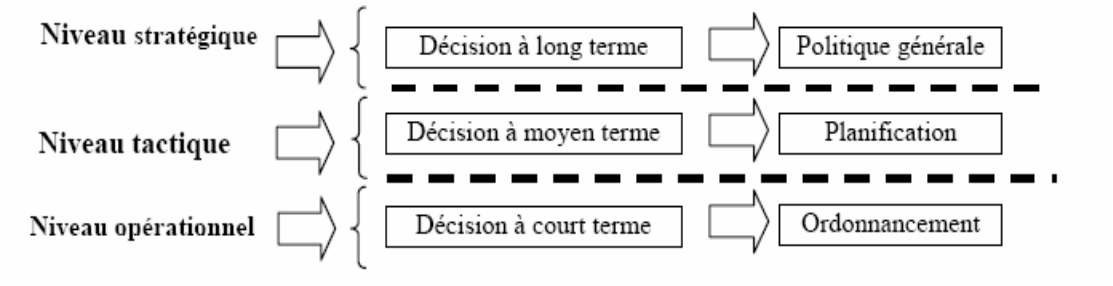


Figure 2.1.2 : Niveaux de décision d'une entreprise.

Après avoir rappelé la définition des différents niveaux décisionnels de l'entreprise nous allons maintenant préciser comment la problématique d'affectation des ressources humaines y est développée.

Situation générale d'un problème d'affectation des ressources : La problématique d'affectation de ressources se décline de différentes façons, en fonction des objectifs à atteindre et du niveau décisionnel considéré.

Niveau stratégique : La planification stratégique et particulièrement celle des Ressources Humaines [Pell, 1992] [Guer, 1984] exigent d'une organisation qu'elle se projette dans le futur. Cette projection vise essentiellement à identifier les leviers d'action qui lui permettront d'anticiper au mieux les conséquences liées aux changements de son environnement [Ades, 2004]. Elle consiste à évaluer parmi différents scénarios, les orientations possibles qui lui permettront de réaliser ses objectifs organisationnels.

Niveau tactique : La planification permet la programmation prévisionnelle des capacités de production, permettant d'assurer une régulation de la production à moyen terme. On distingue trois grandes familles [Giard, 2003] (Figure 2.1.3) :
- L'approche *MRP I* cherche à établir une programmation de la production sans s'interroger sur la disponibilité des capacités de production. Elle repose donc sur l'hypothèse fausse, d'une capacité infinie de production, c'est la plus répandue et la plus ancienne (années 60) ;
- La démarche *MRP II* apparaît à la fin des années 70. Elle constitue la suite logique du *MRP I*, en prenant en compte les capacités limitées de production. Elle est donc plus performante que *MRP I* puisqu'elle cherche à ajuster la charge souhaitée et la capacité disponible ;
- L'approche *ERP* est beaucoup plus ambitieuse car elle vise à contrôler toutes les ressources mobilisées pour un processus donné. Au début des années 90, elle a vu naître de nombreux outils qui proposent une architecture modulaire permettant de mettre en oeuvre un système de gestion « personnalisable ». Cependant les difficultés de paramètrisation de ces outils ont conduit à l'échec de certains projets d'intégration.

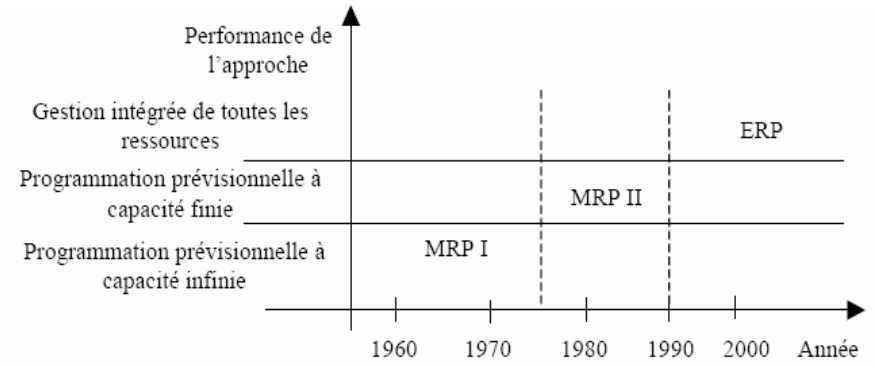


Figure 2.1.3 : Approches de planification.

Lors de la planification, le détail de l'affectation des ressources, en particulier le séquencement des opérations, est ignoré. C'est l'ordonnancement qui va apporter des réponses à cette interrogation.

Niveau opérationnel : L'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation de tâches, en tenant compte des contraintes temporelles (délais, contraintes de succession, etc.) et de celles imposées par les ressources impliquées (disponibilité, aptitude, etc.).

Les problèmes d'ateliers de fabrication forment une classe importante d'applications d'affectation des ressources. On peut alors dresser une typologie des problèmes d'ordonnancement à ressources disjonctives en fonction de l'ordre d'exécution des opérations d'une tâche sur les machines. On en distingue principalement trois types : le job shop, le flow shop, et l'open shop, etc. (Figure 2.1.4).

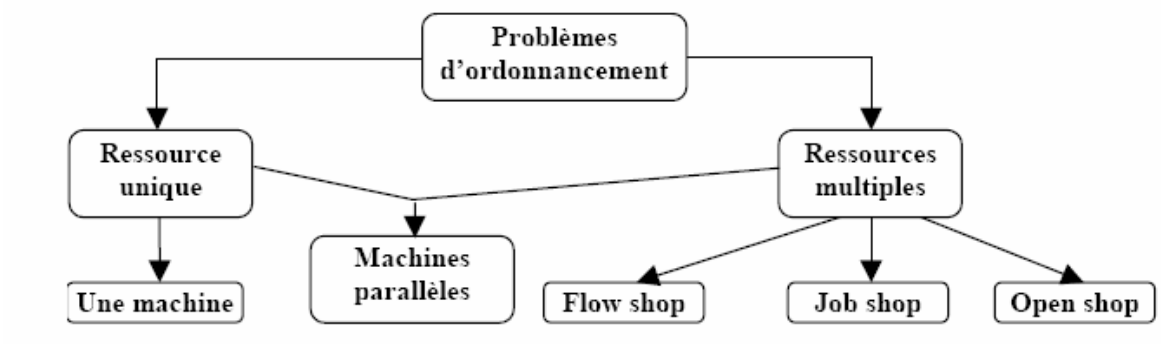


Figure 2.1.4 : Typologie des problèmes d'ordonnancement classique.

Une classification précise des problèmes d'ordonnancement est établie dans [Conw, 1967] en fonction essentiellement, du nombre de tâches à exécuter, du nombre de ressources affectées et de l'objectif à minimiser. A l'opposé de cette typologie « orientée tâche » finalement peu centrée sur les contraintes imposées par les ressources, on trouve une classification « orientée Ressource Humaine » qui se focalise spécifiquement sur celles qui lui sont propres (congés, horaires légaux, etc.). On distingue alors trois classes de problèmes d'ordonnancement [Tcho, 2003] [Soub, 2003] (Figure 2.1.5) : Le « Shift scheduling » qui prend en compte les quarts de travail et les pauses pour l'assignation des ouvriers. Le « Tour scheduling » qui intègre en plus les congés. Enfin le « Day-off scheduling » qui cherche à ordonnancer les jours de congés tout en respectant les contraintes légales.

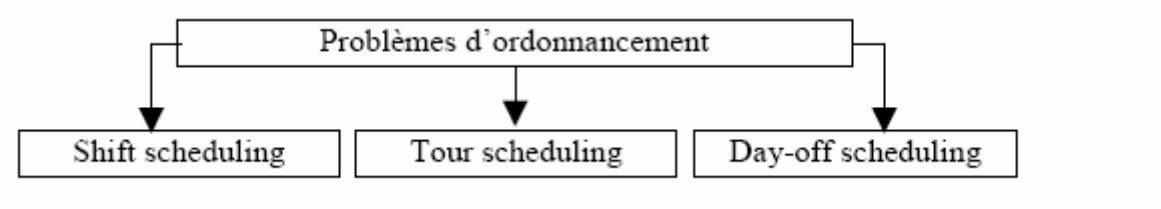


Figure 2.1.5 : Typologie des problèmes d'ordonnancement des Ressources Humaines.

La problématique de l'affectation des ressources, tout particulièrement humaines, au niveau opérationnel reste un problème fortement complexe et multi-variables qui n'est jamais abordé dans sa globalité. D'une part les problèmes classiques, orientés tâches, n'intègrent que de façon limitée l'entité humaine, d'autres parts les problèmes centrés sur les ressources humaines ne cherchent en fait qu'à satisfaire les contraintes qui leur sont propres sans l'impliquer réellement.

1.8. Travaux présentés dans les conférences GISEH « Gestion et ingénierie des systèmes hospitaliers »

On peut résumer différents travaux du groupe GISEH (Gestion et ingénierie des systèmes hospitaliers) sur les systèmes hospitaliers dans le tableau ci-dessous. Nous avons classé ces travaux par thèmes de recherche, mots clés, auteur et bibliographie. Sachant que parmi ces travaux de recherche, la plupart des problématiques abordées sont résolues à l'aide des techniques décrites dans le chapitre 1.

Thème de recherche	**Mots clés**	**Auteur**	**Bibliographie**
1. Planification			
La mise en œuvre de l'ARTTT : l'évaluation de la charge de travail des personnels soignants	Réduction du temps de travail, personnel soignant, PRN, charge de travail	**Fourrière Marie-Jeanne, Nobre Thiery, Sacrez Claire**	
Une approche de type MRP2 pour la gestion des blocs opératoires	Planification des blocs opératoires, organisation hospitalière, approche par flux poussé	**Guinet Alain, Chaabane Sondes**	Botta-Genoulaz, V. (1996). Planning and scheduling flow shops organisations with constraints. Thèse Lyon
Vers une construction automatique du plan directeur d'allocation des plages horaires	Planification, programmation opératoire, problème de découpe, sac à dos multiple à contraintes restrictives	**Kharraja Said, Marcon Eric**	Antonio, J., F.Chauvet (1999). The cutting stock with mixed objectives (two heuristics based on dynamic programming. EJOR, 114 ; 395-402
Amélioration du taux de remplissage des plages horaires chirurgicales, par le choix de la date d'intervention et la décomposition des plages horaires	Planification des patients, programmation opératoire, bin packing	**Marcon Eric, Simonnet Gérard**	F.Dexter and RH. Epstein (2002). Manual of operating room management decision making. Dept anesthésie
2. Logistique			
L'approche chaîne	Modèle multi échelon,	**Lapierre Sophie,**	Chandra, P. and Fisher.

d'approvisionnement pour organiser un service d'approvisionnement hospitalier	planification des activités d'approvisionnement	**Ruiz Angel**	M.L. Coordination of production and distribution planning : EJOR 72, 503-517,1994
Démarche d'implémentation d'un ERP : le cas des hospices civils de Lyon	ERP, PGI, modélisation, processus, système d'information	**Neubert Gilles, Botta-Genoulaz Valérie, Millet Pierre-Alain, Boireaux Armelle, Jarlot Frédérique**	Bancroft N. (1996). Implementing SAP R/3, manning publications, Greenwich
Enjeux et limites d'une amélioration des pratiques logistiques dans les hôpitaux publics Français	Logistique, flux physiques, flux de patients, typologie, performance	**Sampieri-Teissier Nathalie**	Colin, J. (2002). De la maîtrise des opérations logistiques au supply chain management. Gestion 2000, 1,59-74

Thème de recherche	**Mots clés**	**Auteur**	**Bibliographie**
3. Simulation			
Allocation des patients : problématique et approche de résolution par la simulation	Simulation, gestion hospitalière, législation, méthodes exactes et heuristiques	**Artiba Abdelhakim, Di Martinelly Christine**	J.M.H Vissers (1998). Patient flow based allocation of inpatient resources: a case study
Modélisation, simulation et diagnostic de performance de différents modes organisationnels en vue de planifier les séjours des patients	Hôpitaux, design organisationnel, performance, modélisation, simulation	**Créteur Muriel, Pochet Yves**	Baker K.R. Introduction to sequence and scheduling, New York 1974
Simulation de l'activité d'un bloc opératoire en utilisant des données recueillies au niveau d'un département d'anesthésie	Simulation à événement discret, approximation des temps de passage au bloc opératoire, dimensionnement d'un bloc opératoire	**Dussauchoy Alain, Combes Catherine, Gouin François, Botti G.**	Clergue, F. (1999). Gestion du bloc opératoire. Informations cliniques en anesthésie-réanimation, 93-12
Identification des flux de la logistique pharmaceutique d'un hôpital public	Logistique hospitalière, supply chain management, analyse de flux	**Baboli Arman, Brandon MT, Charpiat B., Guinet Alain, Hassan T., Leboucher G.**	Aptel, O. (2000). Le rôle de la logistique dans la connaissance du niveau des stocks (canada)
Systèmes multi agents et réseaux de Pétri pour la modélisation et l'évaluation de performances des systèmes hospitaliers	Modélisation, simulation d'unités médicales, optimisation de flux	**Abouaissa Hassan, Nicolas Jean-Christophe, Benasser Ahmer, Cherkouk Najib**	Abouaissa, H (2002), J-Nicolas, A.Benasser, E.Czesnalowicz
Modélisation et réingénierie des systèmes hospitaliers	Modélisation, processus, synchronisation, traçabilité, tableau de bord	**Faure Sandrine, Vermeulen Bernard, Weisser Philippe**	Brock D.L (2002). Smart medicine: the application of auto-ID technology to healthcare
Etude exploration sur le risque lié à la mutualisation des médecins anesthésistes réanimateurs	Programmation opératoire, bloc opératoire, simulation, ordonnancement, évaluation de performance	**Albert Pascal, Marcon Eric, Simonnet Gérard**	Teil A. (2000). Coût d'une minute de bloc opératoire et coût d'un service d'anesthésie (Tunisie)
4. Organisation			
Le patient, un client au centre des flux	Cartographie des flux, modèle coût patient, structuration des informations, structure de	**Colin Jérôme, Briquet Magali, Schaefers Jos**	Schragenheim (1999). Management dilemma. Saint Lucie press

	flux logistique		
Modélisation de la prise en charge des patients au service des urgences	Télémédecine, services d'urgences, modélisation, réseau de Pétri	**Hajes Pierre, Bellou Abdel, Grandhaye Jean-Pierre, Bayad Mohamed**	Anantharaman V., Swee Han L, (2001). Hospital and emergency ambulance link using IT to enhance emergency pre-hospital care
Le projet d'établissement : objet du changement dans une situation de fusion de trois centres hospitaliers	Réorganisation, projet d'établissement, fusion	**Karaki Hassan, Gardoni Mickael, Vinck Dominique**	Arliaud, M. et M.Roblet (2000). Réformes du système de santé et devenir du corps médical. Sociologie du travail 1, 42, 91-112
Thème de recherche	**Mots clés**	**Auteur**	**Bibliographie**
5. Ordonnancement			
Une méthode pour la prise en compte de l'urgence dans le programme opératoire	Programmation opératoire, insertion de l'urgence, approche prédictive/réactive	**Jbali Aida, Hammami Sondes, Ladet pierre, Hadj Alouane Atidel**	Artigues, C., Briand, Portmann, MP. et Roubellat, F., (2002). Pilotage d'atelier basé sur un ordonnancement flexible
ordonnancement de tâches dans un centre de dialyse	Dialyse, Infirmière, ordonnancement, job shop flexible avec multi ressource	**Brahimi Nadjib, Dauzere-Peres Stéphane, Guéret Christelle**	Blazewicz, M.Draboski, J.Welglarz (1986). Scheduling multiprocessor tasks to minimize schedule length. IEEE trans
Vers une affectation supervisée et optimale des ressources dans les systèmes de production de soins	Modélisation des systèmes de production de soins, affectation de ressources, Rdp T-temporel, supervision, optimisation	**Jebaili Aida, Ladet Pierre, Hadj Alouane Atidel**	Sava, AT (2001). Sur la synthèse de la commande des SEDT (Thèse)
Contribution à l'ergonomie à l'informatisation hospitalière : le cas de la gestion des lits	Facteurs humains, organisation, ergonomie, informatisation hospitalière, gestion des lits d'hospitalisation	**Van Daele Agnés, Ait Ameur Linda**	Beuscart, R. (1998). Travail coopératif et réseau. Informatique et santé 10, 3-10

Tableau 2.1.2 : Résumé de travaux publiés dans les actes de la conférence GISEH 2004.

2. LE SYSTÈME HOSPITALIER FRANÇAIS

2.1. Introduction

Dans ce chapitre nous décrivons le système hospitalier français, ses différents types, ses missions et sa structure. Nous présentons le cas d'étude : ancien hôpital (AH) de Clermont-Ferrand puis le projet du nouvel hôpital (NH), sa nouvelle organisation et ses différents pôles ainsi que les flux traversant cet hôpital.

2.2. Les systèmes

2.2.1. Définitions d'un système

En latin et en grec, le mot « système » veut dire combiner, établir, rassembler. Un système est un assemblage d'éléments reliés entre eux, compris dans un ensemble plus grand. Généralement, un système est constitué de composants (ou d'éléments) organisés ensemble dans le but de faciliter le flux d'informations, de matières ou d'énergie....

Les tentatives de définition des systèmes sont fort nombreuses. La plus classique est celle de [Le Moigne, 1977] qui décrit un système comme étant « un objet qui, dans un environnement, doté de finalités, exerce une activité et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde pourtant son identité unique ».

La littérature est donc très riche quant à la définition de cette notion de système. Quelques unes des ces définitions sont reprises ci-dessous et dans la Figure 2.2.1 nous reprenons les éléments essentiels de ces définitions.

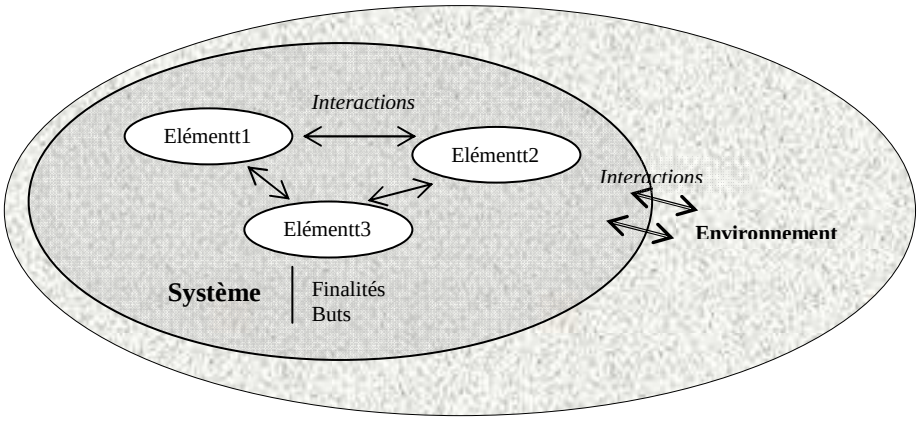


Figure 2.2.1 : Système et Environnement

Le système est un "complexe d'éléments organisé", délimité par l'existence d'interactions fortes ou interactions non triviales, c'est-à-dire non linéaires [Bertalanffy, 1973].

Un *système* est décrit comme un *ensemble d'éléments en interaction* entre eux et avec l'environnement, intégré pour rendre à son *environnement* les services correspondants à sa *finalité.*

Un système est un groupe de composantes ou d'entités en interaction. Généralement, ces composantes fonctionnent ensemble pour atteindre un certain objectif [Sahraoui, 2002].

Un système est un ensemble de composants en interaction dynamique oeuvrant à un objectif commun, dans un processus organisé qui utilise des ressources et les transforment en produits finaux [Djebabra et al., 2003].

Un système est un ensemble de composants (humain, matériel, logiciel, procédures) qui agissent en concert afin de réaliser la mission du système dont ils font partie.

Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but [De Rosnay, 1975].

[Mélèze, 1972] nous propose la définition suivante: Des finalités et des buts étant exprimés sur un environnement, un système finalisé est un ensemble organisé de moyens, méthodes, règles et procédures qui permet d'obtenir des réponses satisfaisantes de l'environnement.

Une autre définition simple: Un système (ou unité complexe organisée) est un ensemble d'éléments (ses composantes) en interactions dynamiques, organisés en fonction d'un but et en relation avec un environnement [Bouvier, 2004] [Biteau, 2003].

Une définition plus complexe: Un système est un objet complexe, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations. Les composants sont considérés comme des sous-systèmes, ce qui signifie qu'ils entrent dans la même catégorie d'entités que les ensembles auxquels ils appartiennent. Un sous-système peut être décomposé à son tour en sous-systèmes d'ordre inférieur ou être traité (au moins provisoirement) comme un système indécomposable, c'est-à-dire comme un système réduit à un seul élément. L'idée essentielle est que le système possède un degré de complexité plus grand que ses parties, autrement dit qu'il possède des propriétés irréductibles à celles de ses composants. Cette irréductibilité doit être attribuée à la présence des relations qui unissent les composants. On pourra donc parler à ce propos de relations définissantes. Les propriétés globales les plus intéressantes d'un système sont celles qui ont trait à son comportement évolutif. On suppose que l'évolution d'un système est conditionnée à la fois par les modifications internes qui peuvent affecter les composants ou les relations définissantes et par les interactions qui peuvent s'établir entre le système et son environnement. Au cours de son évolution, un système peut conserver une certaine stabilité; il peut aussi se transformer soit dans le sens de la désagrégation, soit dans le sens d'une plus haute intégration [Universalis, 2006].

Il s'agit donc d'un tout, d'un ensemble de parties ordonnées. Ces parties ont chacune leurs lois et une certaine indépendance. Par contre, le tout a ses lois propres, car il existe entre les parties, des liens, des relations identifiables, au moins pour quelques-unes d'entre elles et qui s'enchaînent souvent l'une l'autre. Cet ensemble change avec le temps.

Un système n'existe pas dans le vide, mais dans *un milieu* qui réagit sur lui et qu'il influence. Il est le plus souvent soumis à des *contraintes* et n'existe que pour atteindre *un but* suivant un plan et son fonctionnement est *contrôlé*.

On peut *décrire* un système de la façon suivante :

- Identifier les éléments (objets d'intérêts appelés aussi entité) ;
- Déterminer les attributs (propriétés d'intérêt) de ces éléments ;
- Spécifier les activités, i.e. tous les processus qui sont à l'origine des changements dans le système.

2.2.2. Classification des systèmes

Les systèmes sont classés selon diverses catégories.

Un système possédant une entrée et une sortie est dit *ouvert*. Un système possédant une entrée ou une sortie est dit s*emi-ouvert*. Un système ne possédant ni une entrée ni une sortie est dit *fermé*.

Un système *fermé* peut exister dans n'importe quel environnement, ce qui n'est pas le cas d'un système *ouvert*.

Suivant son état un système est stable/instable, évolutif/explosif. Suivant l'état de ses changements un système est continu/discret. Un système est *continu* si son évolution dans le temps s'effectue d'une manière *continue*. Un système est *discret* si son évolution dans le temps s'effectue d'une manière *discrète*.

Les systèmes peuvent être répartis en deux classes :

- Les systèmes *abstraits* (les éléments sont des concepts),
- Les systèmes *concrets* (deux des éléments au moins sont des objets).

2.2.3. Fonctionnement d'un système

Un système peut être divisé en sous-systèmes. Que le système soit complexe ou simple, son fonctionnement est le même. Il s'agit d'atteindre un but, un objectif, à partir des données qui sont estimées ou calculées, puis converties par une opération qui se déroule suivant un plan (Figure 2.2.2).

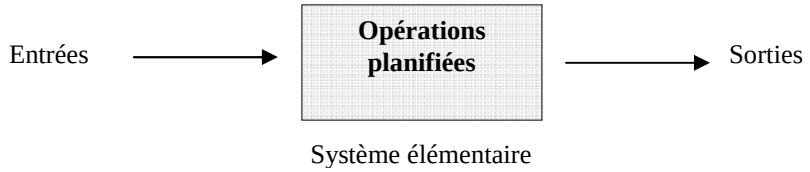


Figure 2.2.2 : Fonctionnement d'un système

Les *entrées* peuvent revêtir des formes variées. Dans un système de gestion, par exemple, on peut les classer en trois catégories : l'information, l'énergie (humaine et matérielle) et les fournitures. *L'opération* du système est le traitement que subissent les *entrées* pour obtenir les *sorties*.

2.2.4. Qualités d'un système

Les qualités d'un système sont sa simplicité, sa souplesse, sa fiabilité, son économie et son acceptation par les utilisateurs.

2.3. Le système hospitalier français

Le système hospitalier français englobe des établissements dont les différents statuts juridiques fondent la distinction entre le secteur public et le secteur privé. Selon les statistiques de l'année 2004 on compte un total de 525 000 lits / 60 Million habitants (*875 lits / 100 000 habitants)* et le secteur public représente les 2/ 3 des établissements de santé (1/3 pour le secteur privé).

2.3.1. Répartition des hôpitaux en France

Il existe trois types d'hôpitaux en France : les hôpitaux publics (315 686 lits / moyenne 305 hôpitaux), les hôpitaux privés à but lucratifs (64 000 lits / moyenne 80 établissements) et les cliniques privées à but non lucratifs (170 382 lits / moyenne 80 cliniques), ces hôpitaux sont répartis comme le montre la figure 3.4.

1. **les hôpitaux publics**
   - 29 Centres Hospitaliers Régionaux (CHR):
     - Implantés dans les capitales des régions sanitaires,
     - Vocation régionale / forte spécialisation,

- La majorité est représentée par les Centres Hospitaliers Universitaires (CHU) par convention avec une Faculté.

- 566 Centres Hospitaliers : ils dispensent tous les soins en médecine, chirurgie et obstétrique, les soins de suite et de longue durée.
- 349 Hôpitaux Locaux : assurent les soins courants et sont dispensés par des médecins libéraux de la circonscription, rémunérés à l'acte. Ils sont liés par des conventions à des centres hospitaliers pour accéder aux plateaux techniques.
- 93 Centres Hospitaliers Spécialisés en psychiatrie
  - 315 687 lits,
  - soumis au contrôle de l'état (Ministère de la Santé, Agence Régionale d'Hospitalisation, Préfet),
  - rattachés aux collectivités locales (Maire Président du Conseil d'Administration),
  - autonomie de gestion,
  - soumis au droit public.

2. les hôpitaux privés à but non lucratif

- 64 000 lits,
- ce sont soit des associations Loi 1901, soit des fondations, soit des établissements gérés par des mutuelles ou des organismes de la Sécurité Sociale.

3. les cliniques privées à but lucratif

- 170 382 lits,
- sociétés commerciales (contrats avec des médecins exerçant à titre libéral.)
- soumis au droit privé.

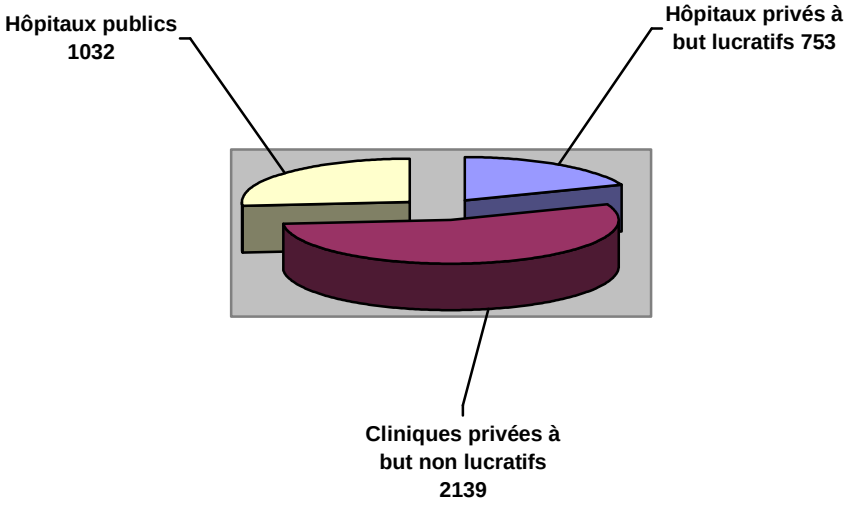


Figure 2.2.3 : Répartition des hôpitaux en France

2.3.2. Missions des établissements de santé

La loi hospitalière de 1991 modifiée par les ordonnances d'avril 1996, attribue aux établissements de santé qu'ils soient publics ou privés des missions communes et des missions spécifiques en fonction des établissements.

1. Missions de soins
2. Mission d'information du patient

3. Mission d'évaluation et d'analyse de l'activité
4. Mission de santé publique

Missions de soins des Etablissements de soins

Ils doivent assurer les examens de diagnostic et le traitement des malades, des blessés, des femmes enceintes et leur surveillance.
Ils doivent :
- Dispenser des soins de courte durée ou des soins concernant des affections graves pendant la phase aiguë en médecine, en chirurgie, en obstétrique, en odontologie et en psychiatrie avec ou sans hébergement ;
- Assurer des soins de suite ou de réadaptation dans le cadre d'un traitement ou d'une surveillance médicale d'affection requérant des soins continus dans un but de réinsertion ;
- Des soins de longue durée avec hébergement à des personnes non autonomes dont l'état nécessite une surveillance constante et des traitements d'entretien.

Mission d'information du patient

Les établissements se doivent de communiquer les informations médicales contenues dans leur dossier aux patients sur leur simple demande; un livret d'accueil comportant la charte du patient hospitalisé doit être donné aux patients lors de leur admission.

Mission d'évaluation et d'analyse de l'activité

Les établissements de santé sont tenus de développer une politique d'évaluation de qualité des pratiques professionnelles et d'organisation des soins. Ils doivent procéder à l'analyse de leur activité tout en conservant le secret médical. Ils doivent mener des enquêtes régulières de satisfaction des patients.

Missions de Santé Publique

Les hôpitaux participent à des actions de Santé Publique, missions de sécurité, missions préventives, réponses aux situations exceptionnelles (ORSEC, catastrophe)
- Lutte contre les fléaux sociaux ;
- Recherche ;
- Dons d'organes ;
- Enseignement pour les CHU.

2.3.3. Personnel des établissements de santé

Le personnel des établissements de santé représente 4.4% de la population active en France
- Soit environ 1.2 millions de personnes ;
- Personnel médical : 14% de l'ensemble ;
- Personnel non médical : 86%.

Dans les établissements publics le personnel médical représente 14% des emplois permanents et dans les établissements privés de 11 et 23 % selon leur mode de gestion. Le personnel non médical englobe le personnel soignant (infirmiers, aide soignant), le personnel technique, le personnel administratif, le personnel technique et d'autres catégories de personnel (assistante social, psychologue, personnel socio-éducatif, ouvrier…). Le personnel soignant représente la part la plus importante soit les deux tiers, des emplois permanents. La part salariale représente environ 72 % du budget hospitalier public.

2.3.4. Hôpital Hôtel Dieu de Clermont-Ferrand

Pour illustrer notre problématique AH vers NH nous considérons l'ancien hôptal Hotel Dieu et le Nouvel Hôpital d'Estaing. Les éléments suivants sont extraits de [chauvet et al, 2005].

2.3.4.1. La structure actuelle

L'Hôtel Dieu (HD) fait partie des quatre principaux sites du Centre Hospitalier Universitaire de Clermont-Ferrand avec l'Hôpital Gabriel Montpied et le Centre Médico-psychologique situés au sud du centre-ville et l'Hôpital Nord à Cébazat. Il est situé au cœur du centre-ville et sa capacité actuelle est de 590 lits. C'est le plus ancien des établissements du CHU. Cet aspect historique explique sa structure pavillonnaire, résultat de constructions s'échelonnant sur deux siècles.

Les grandes spécialités que l'on trouve à l'HD sont les suivantes :

- La pédiatrie

  Tous les services recevant des enfants sont regroupés sur l'HD, que ce soit les urgences pédiatriques, la réanimation, la néonatologie, la pédiatrie médicale et la chirurgie infantile.
- L'obstétrique et la gynécologie

  La Maternité et la Polyclinique accueillent les femmes soit pour suivre leur grossesse et leur accouchement, soit pour traiter les problèmes gynécologiques. Sont également pratiquées les techniques de Procréation Médicalement Assistée (PMA) ainsi que les activités d'orthogénie (IVG).
- Le Centre d'Hépato Gastro Entérologie (CHGE)

  Il reçoit toutes les pathologies, médicales ou chirurgicales, du système digestif.
- Les services de médecine

  Il s'agit des services de médecine interne, de dermatologie, de maladies infectieuses et d'hématologie clinique. L'HD abrite également une unité d'hémodialyse pour adulte.
- La chirurgie et la réanimation

  Le service de stomatologie, chirurgie maxillo-faciale, chirurgie plastique de la face accueille des patients adultes et enfants. 20 lits de réanimation répondent aux besoins de l'ensemble des services de soins de l'HD.
- Le Centre de soins et de traitements dentaires

  Il est implanté dans le bâtiment qui abrite la Faculté de chirurgie dentaire. Il traite les malades hospitalisés au CHU mais reçoit également les patients de ville.
- Le plateau technique

  Il comprend plusieurs blocs opératoires, un service de radiologie doté entre autres d'un scanner de dernière génération ainsi que plusieurs laboratoires.

Donc à partir du rapport de l'existant de l'Hôtel Dieu de Clermont-Ferrand, on peut schématiser l'organisation comme suit (figure 2.2.4).

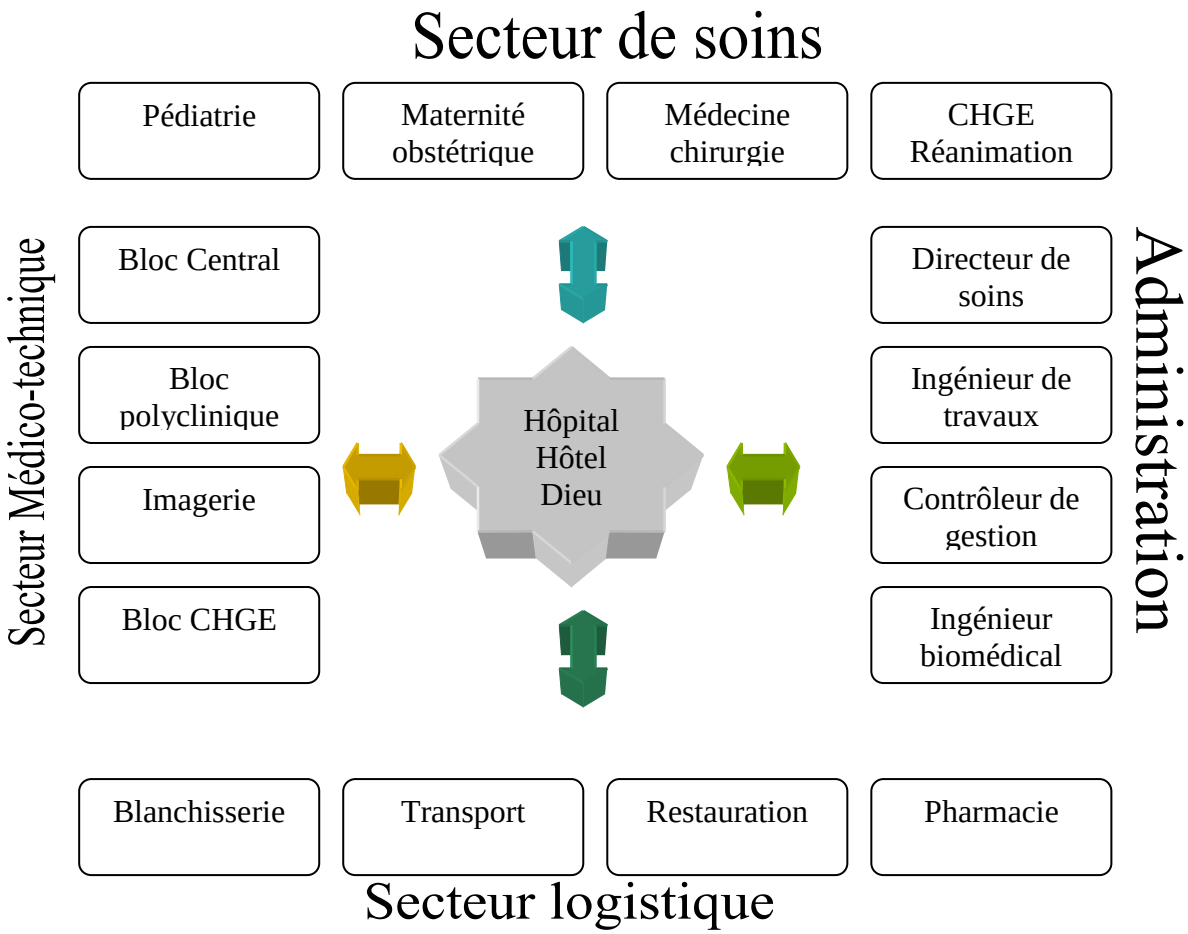


Figure 2.2.4 : Organisation de l'hôpital Hôtel Dieu de Clermont-Ferrand

2.3.4.1. Organisation des flux

D'après le rapport de l'existant de l'Hôtel Dieu, on peut constater les différents flux qui circulent dans l'hôpital :

1 Flux physiques

Flux de produits

Flux de consommables

- Médicaments
- Matériel à usage unique
- Produits diététiques
- Produits d'hygiène
- Prélèvements
- Repas
- Matériel non stérile

Flux de non consommables

- Matériel médicaux chirurgicaux
- Déchets
- Matériel stérile
- Equipement médical
- Transport

2 Flux de personnes

Flux de personnes

- Personnel médical (médecin)

- Personnel paramédical (aide soignant, infirmier, …)
- Patient
- Visiteur

3 Flux d'information

- Suivi et décisions médicales
- Dossier patient

4 Flux financiers

- Coût du personnel
- Coût d'équipements

2.3.5. Le projet NHE

La réflexion menée sur la restructuration générale du CHU de Clermont-Ferrand a conduit l'établissement à faire le choix d'un transfert complet des activités de l'HD sur un nouveau site : le site d'Estaing, impliquant la construction d'un nouveau bâtiment dénommé le Nouvel Hôpital Estaing (NHE). Il est situé entre le centre-ville de Clermont-Ferrand et de Montferrand sur un ancien site industriel de la manufacture Michelin.

Ce projet mobilise tous les acteurs de l'hôpital, de l'administration au médical et paramédical. Tous ces professionnels de santé réfléchissent à une nouvelle organisation qui sera plus adaptée à leurs besoins et à ceux des patients.

2.3.5.1. Les changements

De nombreux changements vont donc se faire :

- L'organisation des services en pôles ;
- La logistique gérée en flux tendus ;
- Le système d'information sans papier ;
- Un nouveau plateau technique ;
- Des conditions de travail agréables tournées (centrées) vers les patients.

Tous ces changements vont faire évoluer le lieu d'hospitalisation aussi bien pour les patients que pour les médecins, les soignants et tous les professionnels. Les patients trouveront technicité, compétences et relations humaines. Ils auront des chambres à un lit pour la majorité. La capacité en lits et en places du nouvel hôpital est de 565.

Les professionnels de santé auront plus de temps pour eux. Ils auront la logistique gérée en flux tendu donc ce gain de temps sera pour les malades. Cependant, ces nouveaux procédés seront à installer et à maîtriser par les acteurs de l'hôpital. La mise en place du système informatique a débuté en 2003 sur l'HD. L'achèvement des travaux du nouvel hôpital est prévu pour fin 2008. Entre ces deux dates, il reste encore à réfléchir sur les processus organisationnels et sur l'adaptation du personnel au nouvel hôpital.

2.3.5.2. Un nouvel environnement

La construction de ce nouvel hôpital apporte de la nouveauté c'est à dire une profonde évolution dans la manière de travailler et de vivre à l'hôpital. Un nouvel environnement est à adopter. Cet hôpital sera placé en agglomération de la ville alors que l'actuel est situé en centre ville. De nombreux déplacements se font entre hôpitaux donc ces flux externes seront différents. De même que les flux internes au nouvel hôpital changeront à cause de l'organisation en pôle. Il s'agit d'une organisation qui place le malade au centre de l'organisation. Cette organisation optimise les flux matériels et humains. La construction du NHE se fera autour d'un plateau technique partagé par toutes les unités d'hospitalisation et de consultations. Cette organisation favorisera la limitation des circulations comme la gestion en flux tendus ou le service de brancardage général.

Un des problèmes est l'adaptation du personnel à ce nouvel environnement et aux techniques de travail. Un travail en amont est fait mais également sur place et en aval. Le personnel hospitalier utilise des méthodes de travail au sein de services mais il doit maintenant les remettre en cause pour s'adapter à celles de l'unité, intégrée dans un pôle. Un travail de gestion organisationnel, matériel et humain est prévu et doit être mis en oeuvre.

2.3.5.3. Une nouvelle infrastructure

Ainsi, le NHE a pour objectif de devenir une grande infrastructure moderne et efficiente, consacrée à la mère, la femme, l'enfant, à une partie de l'activité médico-chirurgicale adulte et à l'hématologie clinique. 13 services de soins actuellement indépendants vont être regroupés sur le même site en 4 pôles. Les services de prestations logistiques vont être pour partie externalisés et coordonnés entre plusieurs autres hôpitaux clermontois. Plusieurs blocs opératoires indépendants vont être imbriqués dans un seul. La figure 1 présente les différents pôles du NHE.

	Secteur adulte	Secteur mère-enfant	Secteur médico-technique
Niveau 2	Pôle spécialité médicochirurgical	Pôle mère-nourrisson	Bloc obs / néonatologie / réanimation néonatologie
Niveau 1	Pôle digestif	Pôle pédiatrie	Bloc opératoire / réanimation adulte
Niveau RDC	Consultations externes adultes	Consultation externes gynéco pédiatriques	Urgences / pôle imagerie / pôle laboratoire
Niveau -1			Logistique / maintenance

Tableau 2.2.1 : Composition des pôles du NHE

2.3.5.4. Organisation des pôles

1. Le pôle mère-nourrisson

Situé, pour l'essentiel, au niveau 2 du secteur mère-enfant, les hébergements sont organisés autour du jardin des enfants. Les chambres profitent des vues sur la place ronde, la ville et la chaîne des puys. Les locaux communs du pôle et bureaux médicaux sont implantés au centre

du plateau. L'implantation du bloc obstétrical, au coeur du système, permet des liaisons immédiates avec les hébergements maternité, les soins critiques du nouveau-né et une liaison directe avec l'hélistation et les urgences. L'assistance médicale à la procréation, reliée aux circulations médicales, est également accessible directement à des consultants externes. L'hébergement gynécologie, pour faciliter les liens avec le bloc opératoire, a été situé sur le niveau -1.

2. Le pôle pédiatrie

Situé au niveau 1 du secteur mère-enfant, les hébergements de chirurgie infantile sont situés sur l'axe médical, en lien avec le bloc opératoire. L'unité ambulatoire bénéficie d'un accès direct des externes. Les locaux de vie commune sont au centre du système, ouverts sur le jardin. Les locaux communs du pôle et les bureaux médicaux sont situés également au centre du pôle. Les soins critiques du nouveau né : néonatologie, réanimation néonatologie, soins intensifs et réanimation pédiatrique sont situés au niveau 2, en contact direct avec le bloc obstétrical. En complément, les consultations externes prennent place au RDC, reliées directement au pôle imagerie et aux urgences pédiatriques.

3. Le pôle spécialités médico-chirurgicales

Situé, pour l'essentiel, au niveau 2 du secteur adultes, les hébergements se déploient autour des cours Sud, le long de la rue Augier. Contigus, ils s'enchaînent afin de bénéficier de la souplesse de capacité demandée. Ils sont reliés à l'axe médical par les galeries traversant la rue intérieure. Les visiteurs accèdent directement aux points d'accueil des unités depuis la rue centrale par des montepersonnes vitrés. Les consultations spécifiques, dermatologie et médecine interne, sont accessibles directement depuis les hébergements spécialisés. Les locaux communs du pôle ainsi que les bureaux médicaux s'ouvrent sur la rue intérieure. Les explorations fonctionnelles, situées au rez-de-chaussée, permettent un accès différencié des malades couchés, des externes enfants et des externes adultes. Les consultations d'odontologie et le centre de formation, en rez-de-chaussée, permettent l'accueil des flux importants de consultants externes au plus près de l'accueil général.

4. Le pôle digestif

Il est organisé au niveau 1 du secteur adultes, sur le même principe que le pôle spécialités médicochirurgicales. Les hébergements s'ouvrent sur les jardins Sud. Les locaux communs du pôle et bureaux médicaux s'ouvrent sur la rue intérieure. Les visiteurs accèdent directement aux points d'accueil des unités depuis la rue intérieure, par des appareils élévateurs vitrés. Les liaisons vers le bloc opératoire se font directement par les galeries de la rue intérieure.

5. Le pôle réanimation / urgences / blocs / ambulatoire

Constituant principal du secteur plateau médico-technique, il est organisé de la manière suivante :

- Les urgences pédiatriques Elles sont situées au rez-de-chaussée.
- Le sas ambulances, situé sous un porche couvert qui permet le stationnement des ambulances, en complément d'un stationnement extérieur, permet également le dépôt des malades couchés.
- Le service est organisé à partir de l'accueil et du poste IAO qui permet le contrôle de l'ensemble des attentes et des circulations internes vers le déchocage, la zone examens soins, l'UHCD, la liaison directe vers le pôle imagerie et les consultations externes pédiatrie, l'accès à la circulation médicale vers les blocs opératoires, bloc obstétrical réanimation et hélistation.

- L'hospitalisation de jour ambulatoire située au niveau 1, au plus près du bloc opératoire et de l'endoscopie, elle est organisée en deux zones contiguës pour permettre des variations de capacité. Elle bénéficie d'un accès indépendant pour les externes et est reliée directement à la circulation médicale desservant l'endoscopie et les blocs opératoires.

6. Le pôle imagerie

Intégralement situé au rez-de-chaussée, sa situation lui permet d'accueillir :
- les consultants externes directement depuis le hall d'accueil,
- les consultants couchés depuis la rue médicale,
- les urgences situées en contiguïté,
- les consultants externes pédiatriques directement depuis le service de consultation.

L'organisation interne respecte le programme en distinguant la radiologie pédiatrique, la radiologie adultes, l'imagerie commune scanner et IRM. Les locaux communs du pôle et bureaux médicaux sont intégrés au plateau.

7. Le pôle laboratoires

Situé au rez-de-chaussée du secteur plateau médico-technique, il distingue le laboratoire biochimiehématologie de celui d'anatomie pathologique. Il est représenté l'implantation complémentaire du laboratoire de thérapie cellulaire. Pour faciliter les liaisons pour analyse des extemporanées, un monte-charge relie directement le bloc opératoire au laboratoire d'anatomie pathologique.

8. Le pôle administratif / logistique / technique

La logistique administrative :
- Les locaux d'accueil et de convivialité se répartissent autour des espaces d'accueil du rez-de-chaussée :
    - Poste d'accueil en premier contact avec les arrivants,
    - Cafétéria, boutiques, expositions animant le hall,
    - Les admissions et leurs attentes en retrait du volume principal,
    - L'administration et les locaux communs du pôle en contact facile avec les espaces d'accueil,
    - Le service social et le service diététique en accès direct pour les externes.
- Les locaux cultuels sont discrètement implantés en niveau -1, accessibles par un espace ouvert sur la rue intérieure.
- Le service mortuaire est situé au niveau -1, accessible facilement depuis la rue intérieure, relié à la circulation logistique et points de montée médicaux en interne. Une cour spécifique permet aux convois un départ discret par le Nord du bâtiment.

La logistique hôtelière :
Les locaux de livraison et d'extraction des différentes matières sont organisés en niveau -1, à partir d'une cour de service abritée sous les bâtiments.

La logistique médicale :
- La pharmacie est située en RDC sur la rue intérieure, dans un emplacement discret. Elle est reliée aux circuits logistiques et médicaux pour permettre un approvisionnement aisé.
- La stérilisation : conformément au programme, une zone est réservée au sein du bloc opératoire pour l'implantation d'une substérilisation.
- La banque du sang : le local est implanté dans l'environnement du bloc opératoire, à proximité immédiate de la réanimation adultes.

La logistique sociale :
- Le restaurant du personnel : afin d'offrir un cadre en rupture avec le monde des soins, il est proposé de situer le restaurant au niveau 2 en vue sur le parc. Cette situation permet également une desserte directe de la cuisine depuis les zones de livraison.
- Les locaux du personnel : Ils sont implantés en rez-de-chaussée sur les circulations internes médicales.
- La médecine du travail : le service est situé au RDC, sur les circulations internes médicales.

La logistique technique :
- L'atelier biomédical a été situé au niveau 2 du secteur plateau médico-technique, en liaison facile vers les services les plus demandeurs : blocs opératoires, SSPI, réanimation adultes, laboratoires, par les points de montée médicaux.
- Les ateliers de maintenance sont au niveau -1, en contact avec la cour de service et reliés à la centrale énergie par galerie souterraine pour faciliter les déplacements du personnel.

2.3.6. Objectifs du projet NHE

Parmi les principaux objectifs du projet NHE on trouve :

- Améliorer le fonctionnement des services logistiques et de soins,
- Simplifier la prise en charge des patients,
- Définir des indicateurs de performances,
- Modélisation de la future organisation par pôle du NHE,
- Libérer du temps soignant,
- Concevoir un outil d'aide à la décision « Tableau de bord »,
- Réalisation d'un modèle de simulation de différents processus : logistique, soins,….

2.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la notion de système et sa relation avec le système hospitalier. Nous avons présenté l'ancien hôpital (AH) de Clermont-Ferrand où nous avons effectué notre étude (entretiens avec le personnel hospitalier, étude de l'existant, étude de statistiques). Puis nous avons introduit le cahier des charges du nouvel hôpital (NH), la mise en place des pôles et la constitution de chaque pôle du NH. Enfin nous avons énoncé les objectifs à atteindre dans ce nouveau projet. Notre étude se situe dans deux pôle de l'hôpital : le pôle imagerie et pôle logistique. En section suivante nous allons présenter la notion de modélisation et la méthodologie conçue au LIMOS et adaptée aux systèmes hospitaliers.

3. ÉTAT DE L'ART SUR LA MODÉLISATION

3.1. Introduction

Dans cette section nous donnons un état de l'art sur la modélisation, sa définition, ses différents approches (orientée fonction, orientée événement et orientée objet), ainsi que les différents environnements de modélisation existants pour les systèmes de production.

3.2. La modélisation

La modélisation consiste à créer une représentation simplifiée d'un système pour résoudre un problème le concernant : le modèle. Grâce au modèle il est possible de représenter simplement un système, un concept et de le simuler. La modélisation comporte deux composantes : l'analyse, c'est-à-dire l'étude du système et sa spécification le décrivant. Le modèle constitue ainsi une représentation possible du système pour un point de vue donné.

3.3. Différentes approches de modélisation

La modélisation d'un système et plus globalement de l'entreprise permet de représenter sa structure et son fonctionnement. Cette activité de mise à plat des pratiques, permet d'atteindre plusieurs finalités, selon les objectifs fixés au préalables lors de l'initialisation du projet : meilleure compréhension du système, meilleur communication entre les acteurs, évaluation de la performance par l'intermédiaire d'indicateurs, analyse des dysfonctionnements, simulation du comportement du système (pour le dimensionnement des ressources par exemple), spécification d'application informatique, etc.
Il existe de nombreuses architectures de références relatives à diverses approches de modélisation. Parmi ces approches il y en a celles orientées données (EA/FDM/SDM, …), orientées fonctions (SADT,…), orientées événements (Réseau de petri, …) enfin orientées objets (OOA, OOT, BOOCH, UML, ARIS,…). Nous interssons dans notre thèse a cette dernière type d'approche, pour cela nous allons présenter l'outils que nous avons utilisé dans notre travail de thèse.

L'outil **ARIS** est basé sur les processus. L'approche par processus propose de focaliser l'analyse et la réorganisation des systèmes sur les processus mis en œuvre dans l'entreprise. Un processus est un ensemble d'activités qui met en relation des structures organisationnelles transversales par rapport à l'organisation fonctionnelle et hiérarchique. La nouvelle philosophie du Reengineering favorise l'échange d'information et développe la coopération entre les acteurs du processus de l'entreprise, voire de la chaîne logistique globale. Elle correspond à une manière nouvelle de représenter les modèles de l'entreprise et propose de nouvelles formes d'organisation pour celle-ci. IDE Sheer, l'éditeur des produits ARIS, fournit les outils intégrés de conception, de mise en œuvre et de contrôle des processus d'entreprise. Parmi ces outils on trouve ARIS Toolset qui est un logiciel utilisé pour la définition, la modélisation, l'analyse et l'optimisation des processus [IDS Sheer, 2001]. Le cadre de modélisation ARIS, représenté sur la figure 2.3.5 est bâti sur une approche multi niveaux (conceptuel, technique, implémentation) et multi vues (fonction, information, organisation, contrôle). Le modèle se fonde sur une modélisation des processus par un diagramme de processus, réalisée à l'aide d'une boite à outils. Pour chaque vue un panorama de modèles est proposé. Bien évidement, pour une étude, il convient de sélectionner un nombre réduit de types de modèle afin d'assurer la cohérence de la modélisation.

Un modèle est composé de plusieurs objets. Tous les modèles et objets sont contenus dans une base de donnée orientée objet, qui permet d'assurer la cohérence entre les vues de la modélisation. Les objets étant présents dans plusieurs modèles ne sont créés qu'une seule fois et réutilisés au cours de la modélisation. En ce sens, ARIS est bien plus qu'un simple éditeur graphique, il assure la cohérence des modèles et facilite leur création, aide particulièrement appréciée dans le cas de système complexes, et permet de passer d'une culture orale à une culture graphique. De nombreux rapports et analyses sont disponibles pour l'évaluation des modèles et des différents objets, offrant ainsi une assistance précieuse à l'utilisateur et facilitant le diagnostic.

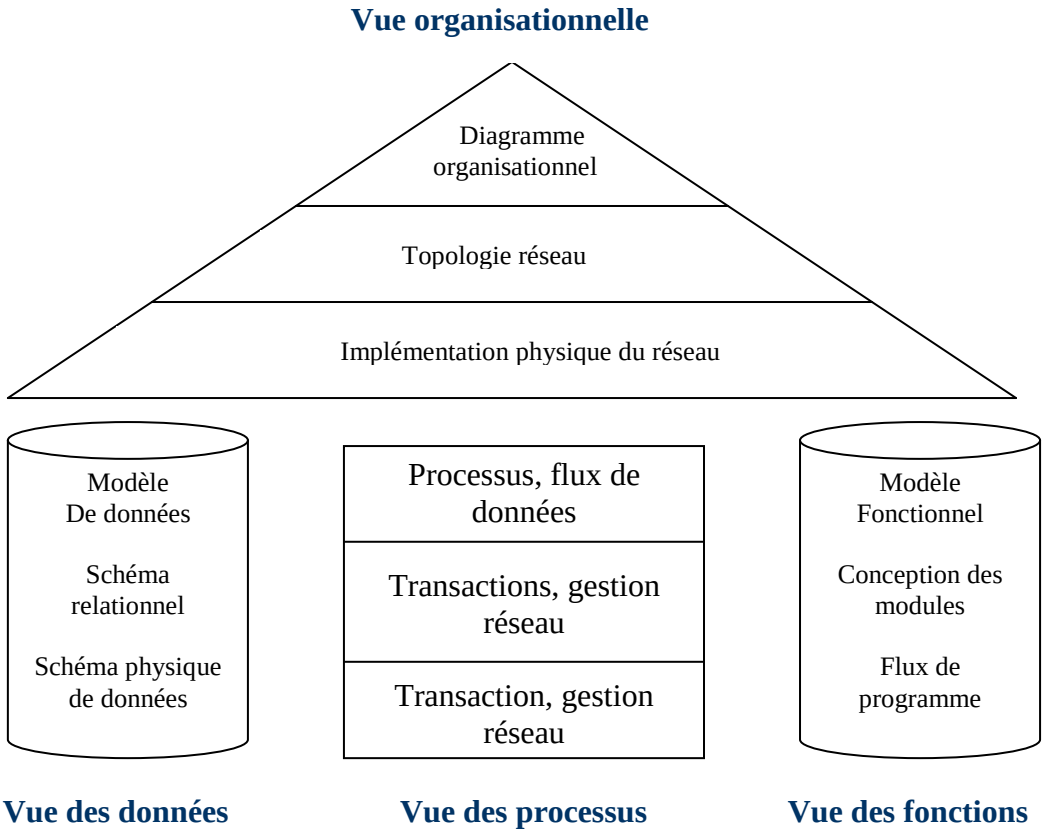


Figure 2.3.1 : Approche processus de ARIS

1. Vue organisationnelle

L'organigramme est un mode de représentation typique des structures organisationnelles. Il permet, selon les critères de structuration choisis, de représenter les unités organisationnelles formées (en tant que responsables des tâches) et leurs interconnexions. Les unités organisationnelles sont les responsables des tâches à accomplir pour réaliser les objectifs de l'entreprise. Les liens représentent les relations entre les unités organisationnelles. Pour une spécification plus précise des rapports hiérarchiques, on distingue différents types de liaisons entre les unités organisationnelles. Une liaison peut alors signifier :

' est le supérieur professionnel '
' est le supérieur hiérarchique '
' est constituant pour '

Symbole utilisé dans les diagrammes organisationnels :

Symbole	Nom de type de symbole	Nom de type de l'objet
Bloc opératoire	Unité organisationnelle	Unité organisationnelle
Personne interne	Personne interne	Personne
Médecin externe EXT	Personne externe	Personne
Aide soignant	Poste de travail	Poste de travail

Tableau 2.3.1 : Diagramme organisationnel

2. Vue de données :

Le modèle de données correspond à la notation de la modélisation de données de CASE-Tools Information Engineering Facility (IEF) de la société Texas Instruments Inc.

Symbole utilisé dans la vue de données:

Symbole	Nom de type de symbole	Nom de type de l'objet
Cluster	Cluster	Cluster
Terme spécifique FB	Terme spécifique	Terme spécifique

Tableau 2.3.2 : Vue de données

3. Vue des fonctions

Elle permet de décrire les tâches du personnel en terme de fonction et cela à l'aide d'un diagramme de rattachement de fonctions qui sera construit à partir d'une fonction donnée.

Symbole utilisé dans la vue de fonction :

Symbole	Nom de type de symbole	Nom de type de l'objet
Nettoyer le matériel	Fonction	Fonction

Tableau 2.3.3 : Vue des fonctions

4. Vue processus

On peut représenter à l'aide de cette vue : la vue organisationnelle, la vue de donnée et la vue de fonctions qui nous donne une vue détaillés et globale du fonctionnement d'un système. Cette vue utilise plusieurs diagrammes à savoir :
1. Chaîne de processus événementielle « Cpe »
2. Chaîne de plus value
3. Rattachement de fonctions
4. Industrial process
5. Office process

1. Chaîne de processus événementielle « Cpe »

A l'aide de ce diagramme, on peut représenter et visualiser le fonctionnement interne d'un système. Les symboles que nous avons vus au niveau des données et des fonctions sont utilisés dans ce diagramme.

Symbole utilisé dans les diagrammes de chaîne événementiel « Cpe »

Symbole	Nom de type de symbole	Nom de type de l'objet
appel telephonique	Evénement	Evénement
∧	Opérateur ET	Connexion ET
∨	Opérateur OU	Connexion OU
×	Opérateur OU exclusif	Connexion OU exclusif
Enregistrement dossiers	Fonction	Fonction
Base de données	Fichier	Fichier
Fiche	Document	Document
Répertoire	Répertoire	Répertoire
Acte médical	Savoir faire	Savoir faire

Classeur	Classeur	Classeur
Téléphone	Téléphone	Téléphone
Télécopie	Télécopie	Télécopie
Code barres	Code barres	Code barres
	Bande magnétique	Bande magnétique
	Type d'application	Type d'application

Tableau 2.3.4 : Vue de CPE

2. Chaîne de plus value

Permet de donner une vision globale du fonctionnement d'une organisation ou d'un service.

Symbole utilisé dans le diagramme de chaîne de plus value

Symbole	Nom de type de symbole	Nom de type de l'objet
Distribution repas	Processus	Chaîne de plus value

Tableau 2.3.5 : Vue de processus

3. Rattachement de fonctions

Permet de dresser un arbre de rattachement de fonctions afin de modéliser les fonctions ou tâches du personnel.
Remarque **:** ce diagramme utilise les mêmes symboles que « Cpe ».

4. Industrial process

Les types de diagrammes Industrial Process représentent, pour l'essentiel, les mêmes faits que dans le type de diagramme CPE avec flux de matières. Toutefois, dans ce modèle, le choix d'objets disponibles est réduit et les symboles y figurent sous forme de représentation graphique.

5. Office process

Les types de diagrammes Office Process représentent, pour l'essentiel, les mêmes faits que dans le type de diagramme CPE. Toutefois, dans ce modèle, le choix d'objets disponibles est réduit et les symboles y figurent sous forme de représentation graphique.

3.4. Les niveaux de modélisation

Pour ordonner la structure du système actuel, la construction du modèle de connaissance a été structurée suivant trois approches : modélisation macroscopique, mésoscopique et microscopique, en intégrant l'organisation par pôle de compétences.

La modélisation macroscopique considère le flux dans un système comme un phénomène agrégé, tandis que la modélisation microscopique considère les interactions individuelles. L'approche mésoscopique agrège les entités sous forme de paquets et constitue un niveau intermédiaire entre le macroscopique et le microscopique [Chabrol *et al*, 2005]. L'approche macroscopique se compose des niveaux généraux de la structure, celle mésoscopique de ceux intermédiaires, celles microscopiques de ceux individuels. La figure 2.3.6 présente les trois approches appliquées à la structure de l'HD.

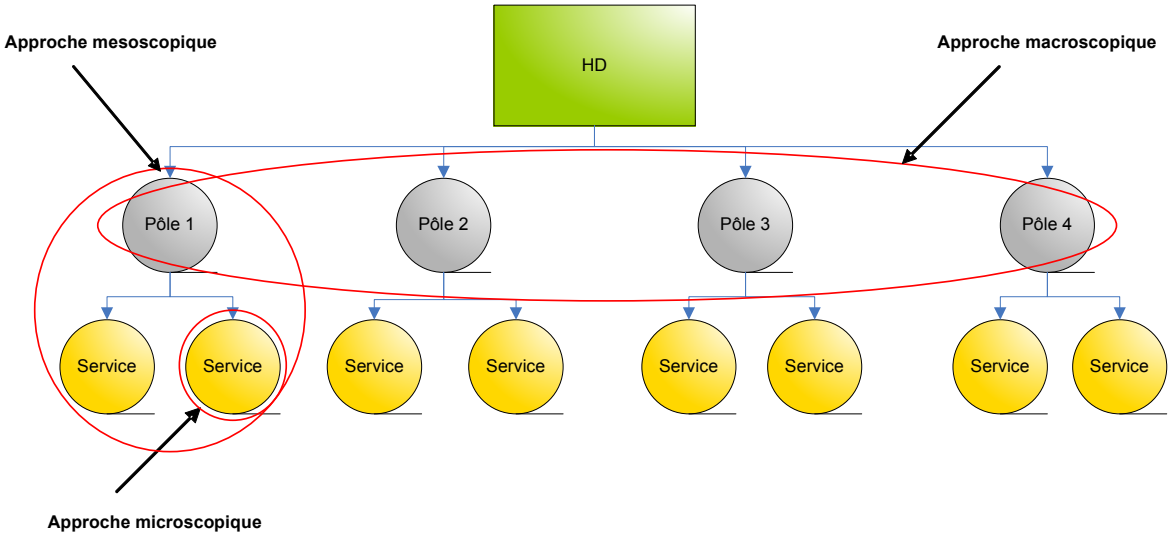


Figure 2.3.2 : Les 3 niveaux : macroscopique, mésoscopique, microscopique

Les huit niveaux descriptifs

A partir des approches macroscopique, mésoscopique et microscopique organisant la structure, nous avons ordonné la structure du système actuel en 7 niveaux descriptifs :

- Relations générales,
- Matrices interservices,
- Relations des services,
- Mouvements des services,
- Organigramme des services,
- Parcours des patients,
- Fonctions des acteurs,
- Processus.

La figure 2.3.7 présente l'organisation des huit niveaux descriptifs suivant les approches macroscopique, mésoscopique et microscopique.

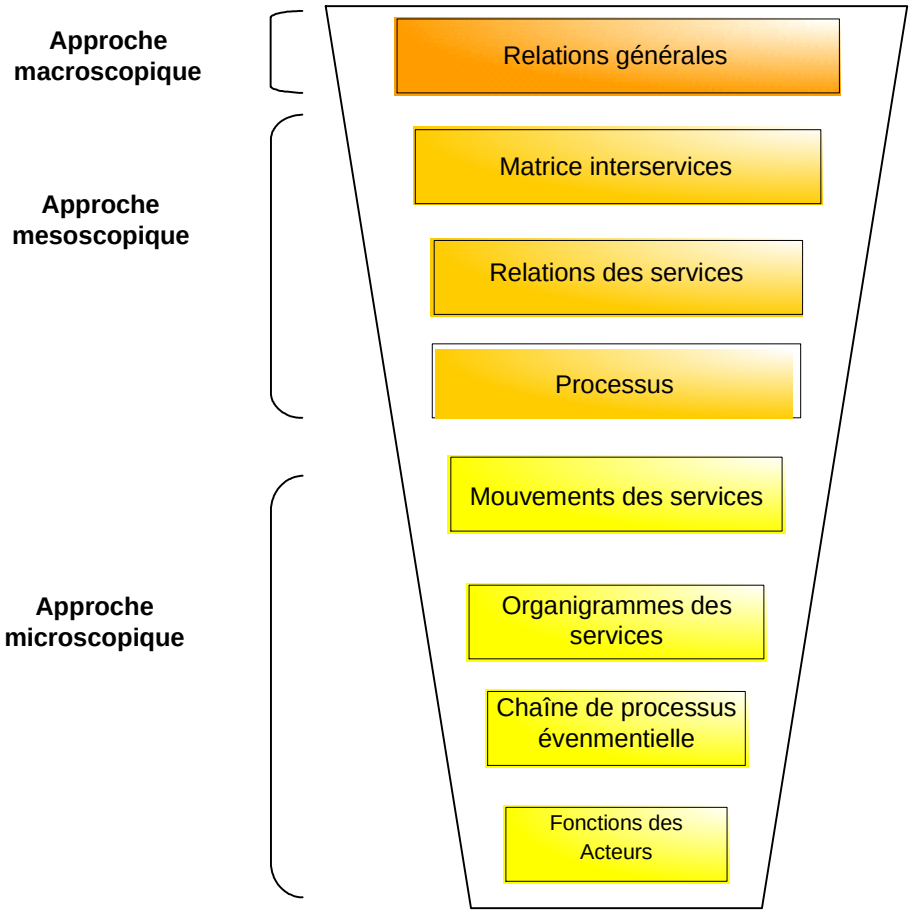


Figure 2.3.3 : Organisation des huit niveaux descriptifs de la structure

Ces niveaux permettent de simplifier la structure du système. Il est important de choisir les types de modèles affectés aux niveaux. Chaque type de modèle comprend ses propres types d'objets et de relations. Ces modèles donnent des schémas des flux internes, externes, des vues horizontales, verticales du système. Ils constituent un outil stratégique pour la description d'une organisation hospitalière.

4. LES ENVIRONNEMENTS DE MODÉLISATION EXISTANTS

4.1. Introduction

Jusqu'à ces dernières années, les problèmes posés par les systèmes de production étaient résolus par la construction d'un modèle dédié, exploité par un langage de simulation. L'utilisation de ces langages était alors réservée à des spécialistes, souvent informaticiens. Cette technique posait de nombreux problèmes : le dialogue informaticien responsable d'atelier n'était pas facile en raison des différents domaines de compétences des personnes concernées. La construction de modèles de simulation reposait sur des données souvent peu validées. Pour l'informaticien, la compréhension du système n'était pas évidente et chaque nouveau modèle à concevoir entraînait des problèmes similaires. Le vocabulaire employé, le fonctionnement des machines demandait de gros efforts aux deux partenaires pour parvenir à spécifier le système. Ce genre de problème n'est pas spécifique à l'étude des systèmes de production, mais à l'étude de tout système.

Nous présentons dans ce chapitre, quelques environnement de modélisation en nous attachant plus particulièrement aux méthodes d'analyse et de spécification qu'ils utilisent, ainsi qu'à l'originalité des fonctionnalités de ces environnements (aide au dimensionnement, pilotage temps réel de systèmes, aide à la décision …) et à leur convivialité (interface graphique, animation…). Pour chaque environnement, nous essayons de dégager les principaux avantages tout en ayant une vue critique. Nous présentons les travaux concernant :

- *GRAPHSIM*, un environnement orienté objets pour la construction de modèles de simulation,
- *ISI* (intelligent simulation interface)
- *SPARKS*, (system performance analysis using real time knowledge based simulation),
- *OPEM* (operational evaluation modelling),
- Un environnement de pilotage de processus industriels,
- *GESICA* (générateur de simulation d'aide à la conduite d'atelier),
- *RESQME* (research queueing package modelling environment),
- *SIGMA* (système intelligent et graphique pour la modélisation d'assemblage).
- SEMoLa (simple, facile pour employer, modelant la langue)
- JDEVS
- ECOLEGO

Ces travaux sur les différents environnements de modélisation existants (GRAPHISM, ISI, SPARKS, OPEM, GESICA, RESQME, SIGMA) aux niveaux industriels sont cités dans la thèse de Combes [Combes, 2004]. Elle a donné pour chaque environnement ses différentes caractéristiques et sa description. Sachant que dans ses différents environnements de modélisation on a remarqué qu'ils ont la plupart presque les mêmes éléments constituant l'environnement. Ces éléments sont :
Un langage de programmation : se différent selon le type de l'environnement.
Un constructeur et un interpréteur de modèle graphique, qui est utilisés pour construire graphiquement les modèles de simulation grâce aux classes d'objets préalablement définies. Une traduction automatique des modèles graphiques en programmes exécutables et réalisée.
Un constructeur de vue, qui permet de visualiser graphiquement d'une manière statique et dynamique les objets et leurs interactions.

Des diagrammes cycles-activités, sur lesquels est basée la méthode d'analyse et de spécification utilisée pour décrire la structure et la dynamique du système.
Une décomposition hiérarchique, qui permet d'appréhender la complexité des systèmes dans le cadre d'une approche systémique.
Une approche orientée objets, qui est utilisée afin d'identifier et de construire un système conceptuel comme une collection d'objets de simulation avec leurs structures de données et leurs méthodes.
Une animation des programmes cycles-activités, qui est réalisée pendant l'exécution de la simulation.
Toutes ces modules communiquent à l'aide d'une interface : un éditeur de programmation graphique permet de crée de nouvelles classes d'objets et les éléments graphiques correspondant (icônes, menus …) et de les stocker dans une bibliothèque. On peut avoir accès au dictionnaire de la bibliothèque d'objets qui peut être organisé de manière hiérarchique afin de faciliter l'accès aux données.

SEMOLA

SEMoLa (Simple, Easy to use, Modelling Language) est un métalangage non procédural pour construire des modèles de simulation continus ou à événements discrets pour des systèmes deterministes ou stochastiques. SEMoLa a été développé au département des sciences agricoles et environnementales, université d'Udine (Italie) et peut être employé pour représenter n'importe quelles sortes de système. Il est particulièrement adapté à la représentation des systèmes biologiques, écologiques et agricoles, à différents niveaux de complexité. Le langage de SEMoLa est intégré dans un environnement de simulation ce qui simplifie les tâches de modélisation, de simulation et de documentation. De plus il fournit des outils pour l'analyse de sensibilité, le calibrage, la validation, la gestion des données, l'analyse statistique, la réalisation de réseaux de neurones, la vérification d'unité… L'environnement peut être piloté par l'intermédiare d'une interface grapohique ou de commandes soit en mode interactif soit en mode programmé. SEMoLa implémente les concepts d'analyse de système [Forrester, 1968 ; Jorgensen, 1994] à l'aide d'une logique déclarative non procédurale qui facilite la conception et les modifications des modèles.

JDEVS

JDEVS est le résultat du travail de thèse de Jean Baptiste Filippi. Il est en cours de développement. Il met en application le paradigme de DEVS de Zeigler adapté à la modélisation et la simulation de systèmes complexes. JDEVS a été développé pour servir de cadre expérimental aux techniques de modélisation de systèmes naturels. Il permet de développer et d'animer des simulations à événements discrets, orientés objets, basées sur des composants interconnectés et collaborant. L'expérience montre qu'il peut être utilisé pour la simulation à événements discrets des systèmes complexes.

ECOLEGO

Ecolego, développé par Facilia, est un outil pour la modélisation des systèmes dynamiques et l'estimation de risques basée sur des simulations de modèles. Il nécessite la boîte à outils Simulink de la plate-forme Matlab. L'interface graphique aide l'utilisateur à définir et a gérer la configuration de la simulation, de ses composants et paramètres. Ecolego aide aussi pour créer des rapports, tracer des résultats de simulation, exécuter des modèles de simulations probabilistes et pour effectuer l'analyse de sensibilité. Bien qu'Ecolego puisse être utilisé pour simuler toute sorte de systèmes dynamiques, il a été conçu spécialement pour répondre aux besoins spécifiques de l'estimation de risques écologiques.

4.2. Conclusion

Dans cette section nous avons présenté différents environnements de modélisation utilisés dans le milieu industriel. Nous nous inspirons de ses environnements pour construire un environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers qui est basé sur les outils de simulation QNAP2, SIMULA et WITNESS. Cet environnement est similaire à RESQME et il contient les cinq couches (interface, méthodes analytique ou de simulation, méthodes d'analyse et de spécification, interfaces graphiques, méthodologie de modélisation), le noyau étant constitué par les outils de simulation.

5. MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION ASCI

5.1. Introduction

Cette section nous permet de définir l'approche de modélisation utilisée dans les systèmes complexes tels que (trafic urbain, système hospitalier,…). Le processus de modélisation proposé fournit des modèles (modèle de connaissance, modèles d'action, modèles de résultat) dont l'évaluation perme de dimensionner le système et d'obtenir ses performances. Dans ce contexte s'inscrit ce travail de recherche, qui consiste à adapter aux systèmes hospitaliers, une méthodologie de modélisation ASCI (Analyse, Spécification, Conception et Implantation), qui a été développée au sein du laboratoire de recherche LIMOS de Clermont-Ferrand pour la classe des systèmes de production.

5.2. Une approche de modélisation des systèmes complexes

L'approche de modélisation que nous présentons a été proposée par Gourgand et Kellert en 1991 [Gourgand, 1984]. Elle est basée sur la construction de deux modèles respectivement appelés le modèle de connaissance et le modèle d'action. Le modèle de connaissance décrit la structure et le fonctionnement du système dans un langage naturel ou graphique. Pour un système existant (étude a posteriori), le modèle de connaissance contient la connaissance acquise après observations du système. Pour un modèle à concevoir (étude a priori), le modèle de connaissance contient les spécifications du futur système. Le modèle d'action est une traduction du modèle de connaissance dans un formalisme mathématique ou dans un langage de programmation (par exemple un langage de simulation) permettant l'évaluation des critères de performances choisis. Plusieurs modèles d'action peuvent être construits à partir du même modèle de connaissance. La construction et l'utilisation consécutives de ces deux modèles constituent le processus de modélisation.

5.3. Le processus de modélisation

Le processus de modélisation est itératif (figure 2.5.1) [Gourgand et al, 1991] et se compose de quatre étapes :

- La construction d'un modèle de connaissance,
- L'élaboration d'un modèle d'action (à partir du modèle de connaissance),
- L'exploitation d'un modèle d'action,
- Les modifications éventuelles sur le système.

La construction du modèle de connaissance doit être réalisée en collaboration avec les experts du domaine. Ce modèle doit rester cohérent dans le temps, quel que soit son niveau de finesse et quelles que soient les évolutions apportées au système lors de son utilisation. Les objectifs à atteindre lors de l'étude doivent être clairement identifies de façon à connaître les problèmes à résoudre. Ceci fait partie de l'identification précise du contexte et des limites de l'étude. La construction du modèle de connaissance consiste en la récolte et la formalisation de la connaissance sur le système étudié. Une phase d'analyse fonctionnelle et structurelle formalise le système sous une forme graphique ou syntaxique. Une méthode de décomposition peut être employée pour faciliter la formalisation de la connaissance lorsque le système étudié est complexe. Une phase de spécification, permet l'expression du fonctionnement des entités du système et des flux. En particulier, le système de pilotage doit être spécifié de façon précise, compte tenu des événements à prendre en compte. Le format des données d'entrée du système doit être spécifié. La spécification ainsi réalisée doit

permettre aux experts en modélisation et aux experts du système de s'accorder sur le fonctionnement (réel ou désiré) du système. La construction du modèle de connaissance nécessite l'utilisation d'outils et/ou de formalisation adaptés.

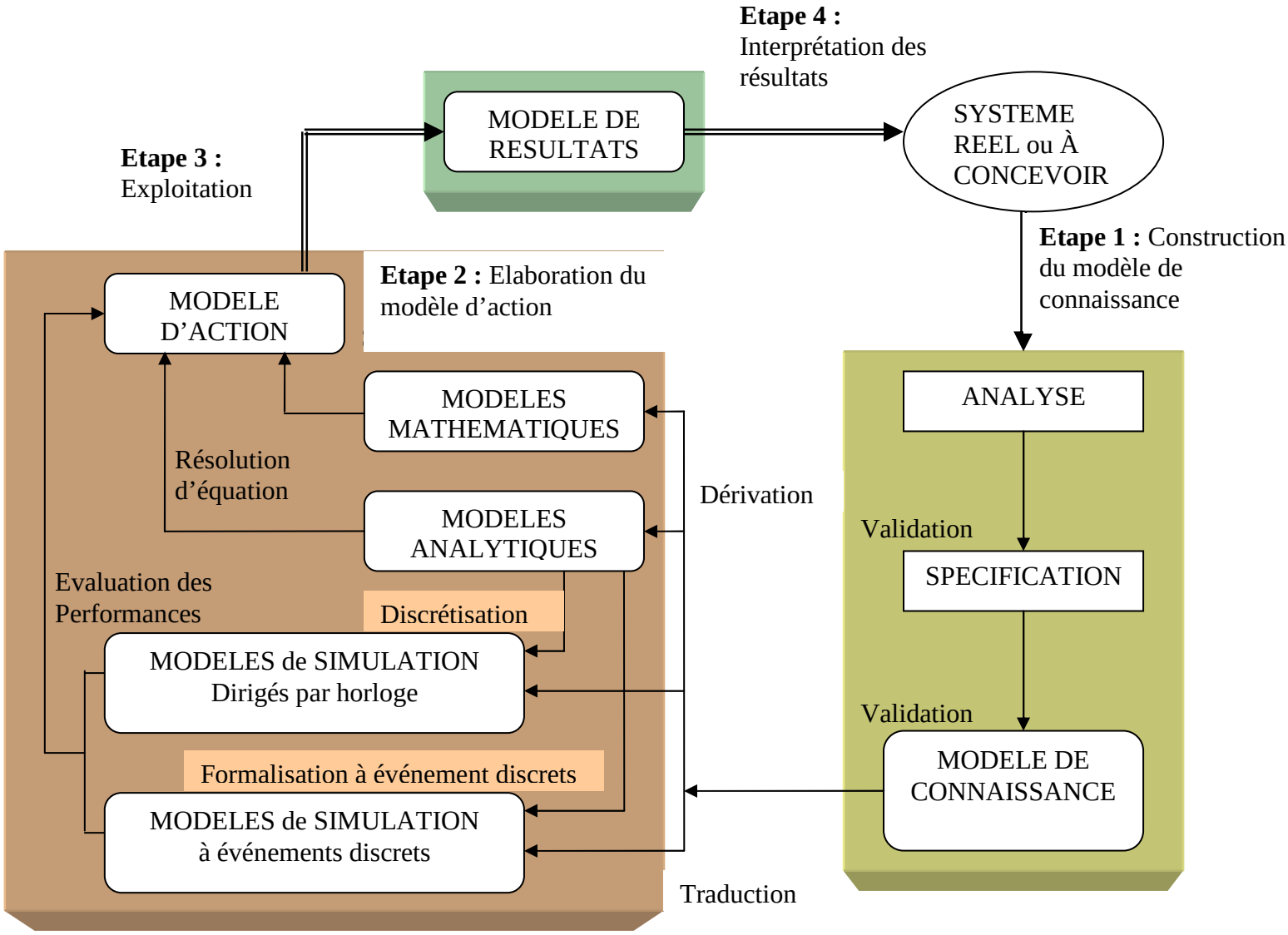


Figure 2.5.1 : Processus de modélisation

L'analyse peut utilisé les diagrammes entité / association [Chen, 1976], UML [BRJ, 1999]… la spécification peut utiliser SADT, SA-RT, les réseaux de Pétri, DEVS [Zeigler, 1976]. De façon à appréhender la complexité des systèmes étudiés, nous utilisons une décomposition (figure 2.5.2) en trois sous systèmes : le sous système physique, logique et décisionnel. Une telle décomposition a été utilisée avec succès pour les systèmes industriels de production [Gourgand, 1997] et les systèmes hospitaliers [Combes, 1994].

Le sous système logique (noté SSL) est constitué des transactions que le système doit traiter, des ensembles des services (opérations) élémentaires concernant le traitement des flux de transactions, et des entrées dans le système qui s'y rapportent.
Le sous système physique (noté SSP) est structuré en unités constituées des entités physiques nécessaires à la réalisation de l'ensemble des services élémentaires. La topologie du sous

système physique définit l'ensemble des moyens physiques (ressources actives et passives), leur répartition géographique et leur interconnexions.
Le sous système décisionnel (noté SSD) ou sous système de gestion est structuré en centres de décision. Il contient l'ensemble des règles de fonctionnement du système et les algorithmes pour le pilotage du système. La mise en œuvre des politiques de gestion d'un système nécessite la possibilité d'agir sur les entités du SSL et du SSP à partir des informations issues de ces sous systèmes. Ce sont les centres de décisions qui assurent le regroupement de ces informations et qui déclenchent des actions en fonction des conditions satisfaites. Les activités du SSD sont les suivantes :

- Réception des informations des autres sous systèmes (par exemple par le bais de capteurs),
- Action sur le SSL : par exemple, mise en œuvre de règles de choix d'allocation des ressources,
- Action sur le SSP : par exemple, mise en place de règles de gestion des pannes et de règles de gestion de l'attribution des ressources.

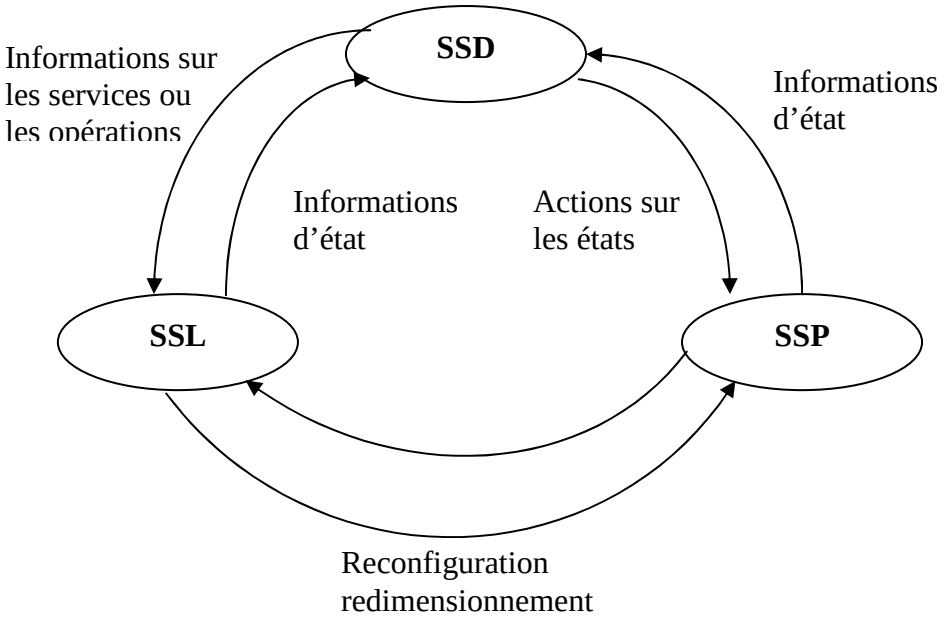


Figure 2.5.2 : Communication entre les trois sous systèmes

La structure interne de chaque sous système est généralement hiérarchique. Le SSD peut quand à lui posséder d'autres structurations (décentralisée, coopératives). La complexité du système étudié est généralement concentrée dans le SSD. Ceci peut nécessiter l'utilisation de techniques adaptées (par exemple en utilisant un système multi agents) pour obtenir une description fonctionnelle précise, particulièrement pour la spécification du fonctionnement du SSD. Les trois sous systèmes sont indépendants, mais échangent des informations sur l'état du système et sur son fonctionnement. La figure 2.5.2 présente ces communications dans le cas général.

De façon à préciser le contenu de chaque sous système et les informations qu'ils échangent, nous allons présenter rapidement un cas de la littérature : les systèmes industriels de production. [Gourgand, 1997] décrit les sous systèmes de la façon suivante :

- Le SSL est composé de l'ensemble des matières premières, des produits semi-ouvrés, des composants à fabriquer, des nomenclatures des produits que peut fabriquer le système et des gammes associées aux nomenclatures.

- Le SSP définit l'ensemble des moyens de production et de manutention, leur répartition géographique et leurs interconnexions logiques et physiques.
- Le SSD spécifie la gestion du système. Il s'agit à la fois sur le sous système physique (règles de gestion des pannes, d'attribution des ressources, …) et sur le sous système logique (règles de passage à une gamme de remplacement,…).

[Gourgand, 1997] utilise les diagrammes entités associations pour la description des sous systèmes et un modèle multi agents pour obtenir une meilleure description du SSD. L'élaboration du modèle d'action réalise le passage d'un modèle de connaissance à des modèles d'action. Un modèle d'action est directement utilisable pour l'évaluation des performances. Ce passage est le résultat de la conception et de l'implantation des techniques des performances envisagées.

La conception permet de replacer le modèle de connaissance par rapport au type d'application souhaité (simulation, résolution exacte, résolution approchée,…) déduite des objectifs à atteindre et des problèmes à résoudre. Plusieurs modèles d'action peuvent être obtenu à partir de modèle de connaissance puisque plusieurs formalismes de spécification peuvent être utilisés. Cette pluralité permet de proposer une panoplie d'outils d'aide à la décision complémentaires pour les problèmes qu'ils permettent de résoudre. On distingue les modèles mathématiques des modèles de simulation.

6. ÉTAT DE L'ART SIMULATION

6.1. Introduction

Dans cette section nous avons défini la notion de simulation et ses différentes types, ainsi que les différents langages de simulation et les simulateurs que nous avons utilisés : SIMULA, QNAP2 et WITNESS. Grâce à sa grande flexibilité, la simulation est l'outil privilégié pour évaluer les performances des systèmes hospitaliers. Ce chapitre présente les caractéristiques principales de cet outil. Bien que la plupart des idées introduites ci-dessous soient applicables à la simulation de systèmes en général, notre domaine de référence reste la simulation des systèmes hospitaliers. Nous commençons par introduire les concepts de base de la simulation et la terminologie que nous utilisons ainsi qu'une taxinomie des techniques de simulation. Nous donnons un exemple d'approche méthodologique pour mettre en place un processus de simulation, en discutant les points importants. Nous énonçons certains avantages et nous faisons ressortir certaines particularités de ces techniques d'évaluation quantitative de systèmes. Une expérience de simulation réussie dépend, en partie, de la sélection adéquate de l'outil utilisé. Nous décrivons différents types d'outils de simulation et nous en présentons avec un peu plus de détails certains, appliqués l'évaluation des systèmes hospitaliers. Nous récapitulons les concepts développés ici et nous présentons quelques commentaires en conclusion.

6.2. Concepts de base

La simulation est l'imitation des opérations effectuées par un système réel à travers un modèle. Elle comporte la génération artificielle de l'évolution du système, représentant son histoire sur une période plus ou moins longue, et l'observation de cette histoire pour en déduire des critères de performance du système. La simulation permet de réaliser des expérimentations irréalisables sur le système réel. Par exemple :
- Elle permet d'estimer le comportement du système sous des conditions de fonctionnement extrêmes, sans mettre en cause l'intégrité du système réel ;
- Si l'on veut modifier le système, on peut évaluer et comparer plusieurs scénarios afin d'identifier les composants les plus sensibles à la modification ;
- Pendant l'étape de conception d'un système, celui-ci peut être visualisé et son comportement étudié, bien avant sa construction.

Nous allons nous occuper de la simulation assistée par ordinateur, c.-à-d. celle où l'ordinateur est utilisé pour imiter et pour manipuler le modèle du système à étudier.

6.3. Catégories de simulation

Dans cette section, nous citons certaines des techniques de simulation qui ont un intérêt particulier dans le domaine qui nous concerne. Nous décrivons plus particulièrement les techniques de simulation de Monte Carlo et la simulation à événements discrets. On peut étendre la taxinomie afin d'inclure :
- La simulation combinée où l'on trouve des composantes continues et discrètes ;
- Certaines des techniques d'accélération de simulation telles que la simulation hybride où le modèle est constitué de modules analytiques et de simulation.

6.3.1. Monte Carlo

Pour certains auteurs, les techniques de Monte Carlo enveloppent toutes les méthodes qui utilisent des variables aléatoires pour modéliser et étudier le système. La mise en œuvre de ces méthodes est basée sur l'utilisation de générateurs de nombres pseudo aléatoires suivant

une loi de probabilité. Les générateurs sont définis dans des bibliothèques logicielles mais la gestion des variables d'état reste à la charge du programmeur. Par exemple, la durée d'un traitement élémentaire aléatoire suivant une loi exponentielle nécessite un appel à un générateur mais la détermination du temps total de traitement, du temps d'attente d'un client ou du nombre moyen de clients dans une file doivent être programmés par l'utilisateur à l'aide de techniques statistiques et de structures de données.

6.3.2. Simulation à événements discrets

J. Le Roudier donne la définition suivante : « la simulation à évènements discrets est une technique de modélisation permettant de construire une abstraction de la réalité (on parle alors de modèle) et de faire évoluer cette abstraction en fonction du temps ». La simulation événementielle utilise un modèle à états discrets du système. Un événement *e* possède un instant t_e d'exécution ou « d'activation » indiquant quand il doit se produire. Les variables du système changent dans le temps à des instants t_i $i \in N$ où les événements ont lieu. L'exécution d'un événement peut générer d'autres événements.

Normalement, le temps est représenté par une variable appelée l'*horloge de simulation*. Dans le noyau du simulateur on trouve une liste où les événements en attente d'exécution sont ordonnés par ordre croissant selon leurs instants d'exécution. Cette liste est dénommée l'*échéancier*. En général, au cours de la simulation, le noyau extrait de l'échéancier un événement prêt à être simulé. L'horloge de simulation évolue en fonction des dates d'événements. L'architecture élémentaire du noyau d'un simulateur à événements discrets est illustrée dans la figure 2.6.2.

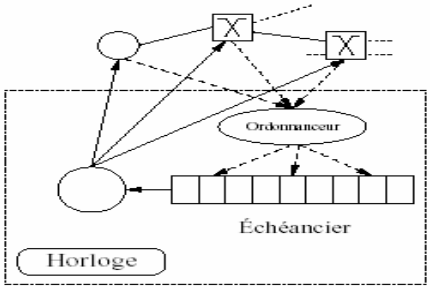


Figure 2.6.1 : Noyau d'un simulateur à événements discrets

Trois structures de données sont souvent utilisées pour implanter l'échéancier: la liste linéaire chaînée, les tas, les structures des listes linéaires indexées telles que les listes calendrier (*calendarqueues*) et quelques fois les arbres.

Dans un système à événements discrets, un processus décrit l'évolution d'une entité active élémentaire (un client, un patient, une tâche…). L'évolution étant discrète, un événement marque la fin d'une activité et le début de la suivante. Les activités sont élémentaires donc une entité ne modifie pas l'état du système pendant l'exécution d'une de ses activités. Ainsi, un processus peut être considéré comme une suite d'événements ou séquence d'activités. Pour gérer la simulation, il est possible d'utiliser les dates d'événements, ou de début et de fin des activités ou encore les dates de reprise d'exécution des processus. Ce qui définit les trois approches : par événements par activités et par processus.

De plus, un langage de programmation ou de simulation, met à disposition des outils de spécification d'un modèle : procédures, coroutines, threads, processus et composants

machines, stations… privilégiant ainsi une facette du modèle et des entités à représenter : orientations événements, activités ou processus. De nombreux outils de simulation proposent un langage ou une interface pour la spécification d'activités des stations. C'est le cas de Witness et QNAP2. SIMULA offre l'orientation processus grâce à sa classe *Process* de simulation et la classe *Transaction* pour la modélisation par réseaux de files d'attente.

6. 4. Avantages et limitations

La grande popularité de la simulation, s'explique par les nombreux avantages offerts par cette technique. On peut citer, entre autres, les suivants :
- La simulation permet de mettre en œuvre une expérience hautement contrôlée, d'ordinaire mieux contrôlée qu'une expérimentation dans le système réel ;
- Elle permet de tester aisément des hypothèses sur le fonctionnement du système et de mieux le comprendre ;
- Elle permet de manipuler les échelles temporelles et les horizons (secondes, heures, jours, mois…).
- Elle permet d'étudier les conditions d'opération extrêmes du système et d'en évaluer les conséquences sans mettre en danger le système ni son environnement ;
- Un simulateur peut représenter un excellent outil d'entraînement utilisé sans la présence de spécialistes.

D'autre part, il faut tenir compte pendant toutes les étapes du processus de simulation, des particularités de ces techniques qu'impliquent des contraintes pour l'analyste. En voici quelques unes :
- Un modèle n'est qu'une approximation du système réel dont on a négligé beaucoup d'éléments. La modélisation adéquate, *i.e.*, le niveau d'abstraction approprié aux besoins du projet, requiert une grande expérience.
- La modélisation adéquate du système inclut la tâche de bien caractériser les données d'entrée afin d'obtenir des résultats satisfaisants. Or, ces données ne sont pas toujours disponibles, par exemple, lorsque le système n'existe pas encore ou lorsque la collecte n'a pas été faite avec rigueur.
- Selon le niveau de précision requis, une expérience de simulation prend un temps considérable aussi bien pendant le développement du modèle, que pendant l'exécution de la simulation. En outre, elle peut produire une énorme quantité de données qui devront être analysées.
- La simulation d'un modèle, étant généralement une réalisation d'un processus stochastique, elle requiert des outils statistiques pour la collection, l'analyse et la validation des résultats. Par exemple, la fiabilité des résultats dépend de la qualité des générateurs aléatoires et de la méthode d'analyse des données utilisée.
- Il est, en général, très difficile de valider qualitativement les simulations. En effet, même si on peut borner l'erreur statistique de la simulation, il n'est pas évident de distinguer si les résultats obtenus correspondent aux spécifications du projet ou s'ils sont dérivés d'un modèle inadéquat du système.
- Les outils ne produisent pas toujours des résultats corrects. Pour mettre au point des modèles, il est souvent nécessaire d'utiliser deux modèles, un par outil de simulation, pour qu'ils se valident l'un par l'autre.

6.5. Outils et langages de programmation utilisés

Nous utilisons le Visuel Basic pour implanter des modèles de simulation de Monté Carlo. Les modèles sont simples et se résument souvent à un calcul de cumul de temps de traitement pseudo aléatoires. Le langage orienté objet de simulation SIMULA est largement sollicité pour implanter des modèles de simulation détaillés, obtenir des intervalles de confiance et valider d'autres modèles. Les outils de simulation QNAP2 et Witness sont plus particulièrement utilisé pour la production et l'animation de modèles.

Le tableau 2.6.1 suivant permet de situer dans le temps, les outils utilisés par rapport aux principaux outils de simulation existants.

Année	**Langages de prog généreaux**	**Langages de sim.par év.discrets**	**simulateurs**
1960	Fortran, Algol, …		
1961		GPSS	
1963		SIMSCRIPT	
1966		SIMULA	
1977		GPSS/H	
1980		QNAP	MASTY
1983		SIMAN	
1984		SIMSCRIPT II.5	
1988			PROMODEL
1995			AUTOMOD, WITNESS, XCELL +, MODLINE

Tableau 2.6.1 : Outils de simulation existants

6.5.1. Conduite d'un projet de simulation avec Witness

Les projets qui mettent en jeu une simulation présentent plusieurs particularités qui doivent être gérées de manière particulièrement attentive afin qu'ils aboutissent correctement. Un projet de simulation aura une séquence typique d'événements :

Établir des objectifs.
Décider l'envergure et le niveau de la description du modèle.
Recueillir des données.
Structurer le modèle.
Construire le modèle.
Lancer le modèle.
Générer des rapports.
Tester le modèle.
Réaliser des expérimentations avec le modèle.
Documenter le modèle.
Présenter les résultats et les mettre en oeuvre.

Établir des objectifs

C'est la première et la plus importante étape d'un projet de simulation. Le but de tout projet de simulation devrait être de permettre une prise de décisions plus efficace. En tant que modélisateur, vous devez comprendre parfaitement la nature des décisions de gestion, dans la mesure où elles auront très certainement des répercussions importantes sur le contenu de votre modèle de simulation.

Considérons, par exemple, deux modèles représentant exactement la même cellule de production mais construits à des fins totalement différentes. Le premier modèle a été créé pour déterminer le débit maximum théorique de la cellule en fonction de différents mélanges de substances. Le modèle contient donc des informations détaillées sur la disponibilité des articles (figurant dans un fichier d'articles) et sur les prévisions de production de la cellule (figurant dans un fichier de données). Le personnel nécessaire pour faire fonctionner la cellule à son maximum n'est pas pris en compte. Le second modèle a été créé pour déterminer le nombre d'opérateurs nécessaires pour faire fonctionner la cellule le plus efficacement possible. Il comprend donc des informations détaillées sur les priorités en personnel, les interruptions des tâches, et l'organisation des équipes de travail. Les prévisions de production sont alors considérées comme moins importantes. On constate ainsi que le contenu des modèles est déterminé par les décisions de gestion que l'entreprise veut prendre. Il n'est donc pas nécessaire de représenter chaque caractéristique de la cellule de production du monde réel dans chaque modèle.

Envergure et niveau de la description d'un modèle

L'envergure d'un modèle de simulation désigne les limites auxquelles il commence et où il finit. Par exemple, prenons un modèle d'une équipe d'opérateurs de saisie. L'objectif du modèle est de décider combien d'opérateurs sont nécessaires pour pouvoir rendre à temps un document donné. L'équipe d'opérateurs peut être prise en considération séparément. Les articles arrivent dans un casier d'arrivée (stock). Chaque opérateur prend des documents dans ce casier, les tapes et les pousse hors du modèle (SHIP). Mais on peut aussi décrire l'équipe d'opérateurs dans le cadre plus large du circuit de documents de l'organisation tout entière. Ce qui conduit à modifier le début et la fin du modèle de simulation pour prendre en compte davantage d'éléments du monde réel. Dans toute la mesure du possible, il est important de limiter l'étendue du modèle.

En ce qui concerne le niveau de description contenu dans un modèle, la règle d'or est de modéliser le minimum nécessaire pour atteindre l'objectif de simulation recherché. Au début du processus de modélisation, de petits ajouts au modèle permettent d'améliorer de façon importante la précision. Cependant, au fur et à mesure que le modèle devient plus détaillé, chaque nouvelle addition enrichit un peu moins cette précision. En fait, on peut même dire qu'à un certain moment, l'ajout de détails a un effet négatif sur la précision du modèle. Cela est particulièrement vrai pour la modélisation des comportements humains, qui présentent souvent des contradictions. Il est possible d'utiliser des éléments WITNESS pour représenter des combinaisons de processus réels, et donc de modéliser un processus à son plus haut niveau. Par exemple, une cellule de fabrication, ou même une usine de fabrication entière, peut être représentées par une simple machine WITNESS.

Recueil des données

Les informations dont se sert le modélisateur peuvent être classées en trois groupes

1. Disponibles : les données sont disponibles et sont dans un format permettant une utilisation immédiate.
2. Non disponibles mais accessibles : les données sont dans un format incorrect ou n'ont pas encore été rassemblées. Il peut alors s'avérer nécessaire d'effectuer une petite étude afin de collecter ce type de données (par exemple, évaluation manuelle de la durée de certains processus).
3. Non disponibles, non accessibles : les données ne sont pas disponibles ou sont difficilement accessibles. Un modèle représentant une usine avec de nouveaux équipements sur un site en est un bon exemple.

Si les données ne sont ni disponibles ni accessibles, on doit utiliser des estimations que l’on peut obtenir en

1. Utilisant les données du fabricant : les fabricants de machines incluent souvent des informations (données de fiabilité par exemple) dans leurs brochures promotionnelles et spécifications de leurs machines.
2. Réalisant une analyse de sensibilité : ceci implique de remplacer un paramètre inconnu (par exemple la durée de cycle d'une machine) par une valeur élevée puis par une valeur basse, puis de comparer les résultats de la simulation tout entière. Si les résultats sont similaires, il s'ensuit alors que le temps de cycle de la machine n'a pas une importance cruciale dans le processus tout entier et qu'une estimation approximative devrait par conséquent être suffisante. Si au contraire les résultats sont sensiblement différents, la durée du cycle de la machine est une statistique importante et il est donc nécessaire de réaliser une estimation plus précise.

Chaque estimation doit donc être considérée comme une hypothèse sur laquelle le modèle se fonde. Si le modèle se trouve par la suite en inadéquation avec la situation dans le monde réel, les hypothèses sur lesquelles il était basé devront être examinées de plus près.

Structure du modèle

La dernière étape importante avant la création du modèle de simulation consiste à l'organiser. Cela permet d'identifier les zones difficiles de la création du modèle et de mettre en relief les besoins supplémentaires en données qui jusqu'à présent avaient été négligés, comme par exemple le temps de transfert des articles entre les différents processus. Ce plan sera typiquement une esquisse de l'installation à modéliser. Ce plan doit identifier les éléments WITNESS (ou les groupes d'éléments) devant être utilisés pour modéliser chaque processus de la vie réelle. Il peut aussi contenir des informations sur les lois d'entrée et de sortie à utiliser pour les éléments clés et un récapitulatif du langage d'actions devant être inclus dans les éléments pour obtenir le degré nécessaire de contrôle logique. On peut aussi incorporer d'autres éléments dans le plan tels que les temps de cycle des machines et les capacités des stocks.

Construction du modèle

Il est recommandé de construire le modèle étape par étape et de tester soigneusement chaque étape avant de passer à la suivante. Il est en effet bien plus facile d'identifier les éventuels problèmes d'un modèle en procédant de la sorte qu'en ayant à rechercher dans le modèle tout entier. Evitons la tentation d'expérimenter un modèle avant qu'il ne soit terminé. Il est préférable de disposer d'un modèle complet, testé convenablement, qui servira de référence à laquelle il sera possible de comparer les résultats de l'expérimentation.

Les principales étapes dans la construction d'un modèle sont la création d'éléments (déclarer, représenter et les décrire), puis les lier ensemble avec des lois. On peut également construire une logique plus complexe dans votre modèle en utilisant des actions.

Lancement du modèle

Après avoir déclaré, représenté et décrit les éléments du modèle, on peut le lancer immédiatement puis le modifier en ajoutant, modifiant ou supprimant des éléments. Ensuite il est relancé pour évaluer l'impact de ces changements. Les caractéristiques suivantes peuvent s'avérer utiles :

- Le bouton trace des flux situé sur la barre d'outils lancer, lance l'enregistrement de la trace des flux pour le modèle. Le rapport de la trace des flux montre, pour les articles sélectionnés (soit sur la fenêtre sélectionnée, soit sur le schéma des procédés) les flux à travers le modèle pendant la période de simulation (en utilisant soit des lignes de largeurs différentes soit des compteurs) mais il peut également sortir ces informations vers un fichier.
- En cliquant sur le bouton schéma des procédés qui se trouve sur la barre d'outils vue, on affiche une fenêtre indépendante qui contient un schéma des procédés du modèle. Les éléments sont représentés sous forme de rectangles, suivis de lignes et de flèches indiquant le sens des flux d'articles ou de fluides. On peut choisir de représenter le nom des lois aux points appropriés.
- Le schéma des flux représente le mouvement des articles ou des fluides à travers le modèle sous forme d'une série de lignes (avec des flèches qui en indiquent la direction). La destination finale des articles ou fluides est indiquée en fin de ligne (par exemple, SCRAP, SHIP).

Cette capacité à construire pas à pas un modèle en testant chaque section graduellement constitue une aide précieuse pour la construction et améliore la confiance dans la crédibilité du modèle. Différents modes de lancement du modèle existent, depuis l'exécution pas à pas (avec affichage écran intégral) jusqu'à une exécution en accéléré (sans affichage écran).

Générer des rapports

Une fois le modèle construit et exécuté, on peut utiliser les rapports WITNESS pour choisir entre différents scénarios de simulation.
Par exemple :
- Pour accroître le taux d'utilisation des machines, utiliser la proportion de temps pendant laquelle les machines restent disponibles comparé au temps où elles sont occupées, pendant une durée de simulation donnée.
- Pour augmentation le rendement des installations, consulter le nombre d'articles traités pendant une journée simulée, par exemple.
- Pour rationaliser les ressources, étudier le taux d'occupation des opérateurs de chaque catégorie.
- Pour réduire les rebuts ou gaspillages, étudier les quantités d'articles rebutées pendant la période de simulation.
- Pour éviter de perdre des clients parce que les files d'attente sont trop longues, chercher à connaître le nombre de clients qui ne sont pas entrés pour cette raison (nombre d'articles rejetés).
- Pour estimer la durée de vie de véhicules, étudier la distance totale parcourue sur une semaine de simulation.

On peut choisir différents types de rapport puis les imprimer, les afficher à l'écran ou les enregistrer dans un fichier DIF ou CSV. On peut même générer des rapports en format HTML, afin de les incorporer dans des pages web publiées.

Tester le modèle

Le test d'un modèle de simulation implique deux étapes : vérification et validation. La vérification assure que le contenu du modèle répond aux attentes. Il s’agit de vérifier par exemple que les articles sont correctement acheminés entre les éléments et que le personnel utilisé est affecté aux bons éléments et dans le bon ordre de priorité. La validation (qui suit en général la vérification) détermine si le modèle est fidèle au monde réel. Un exercice de validation typique peut faire intervenir la fourniture d'un ensemble type d'entrées (par exemple, l'arrivée d'articles et les prévisions de production) puis l'étude d'un ensemble de sorties du modèle (par exemple, le niveau moyen des encours pour un article, ou les temps de sortie des articles. Les étapes de vérification et de validation d'une étude de simulation sont généralement répétitives car elles impliquent de revenir sur certaines étapes qui ont déjà été réalisées. Par exemple, l'ajout de certains processus non modélisés peut être nécessaire, ce qui élargira l'envergure du modèle.

Expérimentation

Lorsque la fidélité du modèle est satisfaisante, on peut procéder à un certain nombre d'analyses de type Et Si ?. Ces scénarii auront été définis dans le cadre des objectifs initiaux de l'étude de simulation. Une expérimentation réussie implique généralement de passer par une période de mise en régime ou d'établir des conditions de démarrage, de définir la durée approximative de l'exécution, et de lancer le modèle avec plusieurs suites de nombres aléatoires. Une période de mise en régime permet au modèle d'atteindre un état stable avant que WITNESS ne collecte les résultats. Par exemple, il est peu probable qu'une chaîne de production puisse être totalement vide d'articles le lundi matin à la première heure, même si la simulation démarre sur ce type de situation. Une mise en régime, disons d'une semaine, permettrait une certaine accumulation dans les stocks à un niveau représentatif. on peut alors indiquer au modèle de ne pas prendre en compte les résultats de la première semaine et de commencer à rassembler les résultats à partir du lundi matin de la deuxième semaine. il est possible de créer des conditions de démarrage par des arrivées d'articles actifs ou des machines factices qui traiteront un nombre important d'articles au temps zéro et seront ensuite rendues inactives pour le reste de la simulation. Des fichiers d'articles peuvent être utilisés pour créer des conditions de démarrage. Bien que la plupart des simulations nécessitent des périodes de mise en régime ou des conditions de démarrage, il existe certains cas dans lesquels elles ne sont pas nécessaires. Par exemple, un modèle créé pour étudier les services clientèle d'une banque serait vide au démarrage, puisque c'est dans cette situation que se trouvent les banques chaque matin à l'ouverture. Toute expérimentation implique de lancer le modèle pendant une durée spécifiée et dans des circonstances différentes. La durée du lancement doit être déterminée en fonction d'un certain nombre de facteurs. Le plus important est qu'un échantillon raisonnable de nombres aléatoires doit être tiré de chacune des suites de nombres aléatoires utilisées dans le modèle. Chaque lancement doit viser à utiliser au moins 10-15 nombres de chaque suite. Si une suite est utilisée pour calculer un intervalle de panne allant de 1 à 2 semaines, la durée du lancement doit être de 20 à 30 semaines.

Documentation

Il est bon de bien documenter la création de votre modèle. Cette documentation devra inclure le schéma de la structure du modèle. WITNESS offre aussi d'autres fonctions de documentation du modèle, soit à l'intérieur du modèle lui-même, soit de manière externe, vers un fichier ou une imprimante. On peut ajouter des notes aux documents et aussi utiliser des points d'exclamation dans les lois et actions afin d'insérer des commentaires. L'option rapports/lister envoie un rapport sur chaque élément (avec son type d'élément) dans un fichier

ou vers une imprimante. Les sources de données utilisées, les hypothèses faites et les résultats obtenus doivent aussi faire partie de la documentation du modèle.

Présentation des résultats et mise en oeuvre

La méthode de présentation des résultats dépend de la taille du projet de simulation et du type d'organisation dans laquelle vous travaillez. Un modèle animé, en particulier lorsque sa représentation graphique a été particulièrement soignée, constitue un outil de communication efficace pour la prise de décision.

6.5.2 SIMULA

SIMULA (**Sim**ple **u**niversal **la**nguage) est le langage qui a introduit le paradigme de programmation orientée objet en 1967, et il est donc le premier langage à objet et le prédécesseur de langages tels que Smalltalk, C++ et surtout Eiffel. SIMULA est basé sur les blocs et coroutines d'Algol 60.

La première version du langage appelée SIMULA1 a été développée par O.J. Dahl et K. Nygaard en 1962, afin de réaliser des simulations à événements discrets. Mais SIMULA est plus qu'un langage uniquement conçu pour la simulation, c'est aussi un langage de général de haut niveau. En 1967 SIMULA va formaliser et généraliser les concepts nés pour les besoins de la simulation. La version actuelle de SIMULA a été normalisée en 1986 et dérive de la précédente. SIMULA n'a jamais connu un véritable succès dans l'industrie, cependant les idées qui ont été développées ont beaucoup influencé la conception des autres langages de programmation. SIMULA fût le premier langage à introduire le concept d'objet et de classe. Nous ne présenterons pas ici les notions communes à tous les langages procéduraux tels que le langage Pascal ou le langage C. Nous ne présenterons que les notions qui sont nécessaires à la simulation c'est-à-dire la notion de classes et, plus particulièrement, les classes SIMSET et SIMULATION que l'on retrouve dans toutes les implantations de SIMULA. Comme son nom l'indique, en plus de constituer un langage de programmation généraliste, SIMULA a été conçu de façon à contenir des bibliothèques de classes offrant un support de concepts spécifiques à la **simulation discrète**. La classe *Process*, héritant de *Simulation* fournit à l'utilisateur la notion de processus pouvant s'exécuter en mode *quasi-parallèle* à l'aide du concept de coroutines. Une coroutine est une routine à plusieurs points de sortie et qui, à chaque rentrée du flot d'exécution dans celle-ci lors d'un appel à la méthode **Resume**, reprend son exécution à la dernière instruction où le flot l'avait précédemment quitté lors d'un appel à l'instruction **Detach**. Le point d'exécution est stocké dans le LSC : Local Sequence Counter.

La classe interne Simulation constitue une bibliothèque pour la simulation à événements discrets. La gestion de l'échéancier et des processus s'effectue au moyen d'instructions dédiées : **Activate**, **Passivate**, **Hold**, **Passivate** et **Wait** prises en charge par le compilateur. De nombreuses classes externes telles que **Gpsss** (GPSS sous SIMULA) et Demos (extension de la précédente) accroissent les capacités du langage en simulation à événements discrets.

Tous les grands concepts (et même plus) de la programmation orientée objet sont d'ores et déjà présents dans **SIMULA**, qui les inaugure (polymorphisme, encapsulation, etc.) et qui allie la clarté syntaxique de l'Algol :
- Les **classes**, les **attributs** et les **méthodes**
- L'instanciation via l'instruction **New**
- Les **relations** entre objets sont définies au moyen de références d'objet : (sorte de pointeur **Ref( )** et de l'affectation de références avec l'instruction dénote **:-**

- Référence sur l'instance courante grâce au mot clé **This**
- Test de référence nulle automatique nativement supporté **Inspect-Do-Otherwise** :

Inspect rect do Draw

ici, *x.Draw* ne sera appelé que si *x* n'est pas une référence *nulle* (mot clé : **None**)
- Fonction virtuelles
- Appel de méthode par notation pointée (**dot-notation**) : O*bjet.Methode*
- Appel qualifié (i.e. statiquement lié) de méthodes virtuelles à l'aide de l'opérateur **Qua** ou avec **Inspect-When**
- Reconnaissance de type à l'exécution (instruction **Inspect**, **Is**, **In**)
- Héritage simple entre classes
- Restriction d'accès (**Hidden**, **Protected**)
- Classes imbriquées (ou internes)
- Imbrication sophistiquée des appels du corps de la classe via l'instruction **Inner**, qui peut ainsi permettre d'obliger l'exécution de code avant et/ou après l'exécution du corps d'une classe dérivée : on voit déjà se profiler le concept d'assertions, implantées par Eiffel dans les années 80, ou même la programmation par aspect, qui sera développée dans les années 1990.
- Un ramasse-miette (garbage-collector).

6.5.3. QNAP2

QNAP2 (Queueing Network Analysis Package) développé par Bull et l'INRIA, est un outil conçu pour l'analyse des réseaux de files d'attente. Ecrit en FORTRAN 77, ce qui lui assure une grande portabilité, ce logiciel est utilisable sur de nombreux types d'ordinateurs. QNAP2 est maintenant un produit commercial diffusé par la société SIMULOG. Il a pour vocation initiale de trouver des solutions analytiques aux réseaux de files d'attente. Les résultats sont fournis à la fin du calcul sous forme d'un tableau comprenant, pour chaque serveur du modèle:

- Le taux d'utilisation de ce serveur,
- Le temps moyen de service,
- Le temps moyen de réponse,
- Le nombre moyen de clients et
- Le débit moyen.

Ces résultats peuvent être obtenus séparément pour toutes les classes de clients. Bien entendu pour que ces résultats soient valables il faut que le système ait la possibilité d'atteindre un état d'équilibre. Les solveurs présents dans QNAP2 fournissent des résultats exacts (CONVOL, MVA, ...) ou approchés (HEURSNC, DIFFU, ...). Mais ces méthodes de résolution sont limitées à un certain nombre de configurations particulières.

Dans le langage de QNAP2, SINGLE signifie que la station ne possède qu'un seul serveur, MULTIPLE que la station peut contenir plusieurs serveurs, INFINITE que le nombre de serveurs est potentiellement infini (i.e. il n'y a pas d'attente dans la file d'attente de la station). LIFO, FIFO et PS sont les règles de sélection des clients dans la file d'attente. PREEMPT indique que lorsqu'un client plus prioritaire que le client en cours de traitement arrive dans une station, le traitement de ce dernier est interrompu au profit du client plus prioritaire.

QNAP2 possède aussi un solveur Markovien. Ce solveur calcule tous les états possibles du modèle ainsi que les probabilités de transitions vers ces états. A partir de ces résultats il en déduit les performances exactes de chacun des composants du modèle. Si en théorie la

résolution markovienne permet de traiter beaucoup plus de configuration de systèmes, elle est en pratique très vite limitée par la capacité de la mémoire de l'ordinateur sur lequel s'effectuent les calculs.

Une solution apparaît naturellement pour résoudre les modèles qui restent rebelles aux deux techniques précédentes. Elle consiste à faire circuler des clients par les chemins décrits par le modèle, à appliquer aux clients dans les stations les politiques de sélection et de traitement, elles aussi décrites dans le modèle. Des générateurs de nombres aléatoires permettent de reproduire la nature stochastique des modèles (temps de service, probabilité de transition, etc.). Durant l'exécution des modèles QNAP2 effectue des mesures sur les clients et sur les stations pour retrouver les résultats fournis par les solveurs analytiques (taux d'occupation des serveurs, temps d'attente dans les stations, etc.). Cette technique quoique moins précise et plus coûteuse en temps, permet d'obtenir des résultats avec n'importe quel type de modèle. Nous ne maintiendrons pas le suspens plus longtemps ce solveur est appelé simulateur. Cette méthode de résolution autorise en particulier la caractérisation du comportement d'une station, non plus par une loi mathématique, mais par un algorithme. Cela conduit à des modèles plus précis et donc à des résultats plus justes. En contre partie si une description algorithmique est employée l'étude mathématique des modèles est rendue impossible. La simulation permet de franchir une étape dans la modélisation du système en autorisant les clients à véhiculer des données et les serveurs à exécuter des algorithmes pour traiter ces données (au lieu d'uniquement consommer du temps). L'utilisation des techniques de simulation pour les réseaux de files d'attente va autoriser une forme différente de modélisation des systèmes informatiques. Nous avons vu précédemment que les serveurs modélisent les ressources du système (CPU, disques, terminaux, etc.) tandis que les clients représentent les entités qui consomment ces ressources (en général les travaux présents dans la machine). Avec une description algorithmique du comportement des serveurs ceux-ci peuvent représenter des travaux qui s'exécutent dans le système tandis que les clients représentent les données que ces travaux échangent. Cet ajout fonctionnel à QNAP2 a permis de le rendre célèbre dans le monde des réseaux, il est facile de considérer que les serveurs sont des programmes placés sur des machines distinctes qui échangent des données par le biais de files d'attente qui modélisent le réseau.

6.6. Conclusion

La simulation occupe une place très importante comme outil d'aide à la conception, l'analyse, la formation, la planification, l'évaluation des performances ou de la sûreté de fonctionnement et, en général, au niveau de presque tous les processus de prise de décision. Dans ce chapitre, nous avons introduit les concepts de base de la simulation en gardant à l'esprit le domaine d'application des systèmes hospitaliers. Nous avons souligné les caractéristiques principales des différentes techniques de simulation et nous avons présenté avec un peu plus de détails, la simulation à événements discrets. Dans les travaux de recherche que nous présentons par la suite, nous avons utilisé une approche orientée événement et une progression par événements. Cette méthode est souvent plus efficace et plus souple du point de vue du développement des outils de simulation. Si la simulation possède un ensemble d'avantages incontestés, il n'est pas moins vrai qu'il s'agit d'un processus délicat dont une partie non négligeable du succès est liée à l'expertise du responsable de l'expérience. Pour mener à bien tel processus de simulation, il est nécessaire :

- De suivre, dans la mesure des possibilités, les recommandations des méthodologies de simulation comme celle introduite dans ce chapitre ;
- De posséder des compétences en probabilité et statistique ;

- De connaître et de bien comprendre le système à étudier ;
- De pouvoir formuler les objectifs attendus sans ambiguïté ;
- D'identifier l'interaction entre le système et son environnement ;
- De connaître les différents outils de simulation disponibles, afin de pouvoir sélectionner le mieux adapté au travail à réaliser.

Dans le domaine des systèmes hospitaliers, la simulation est l'outil privilégié pour réaliser des études d'évaluation des performances. Ceci est dû à la complexité toujours croissante de ce type de système ainsi qu'à la disponibilité –aussi croissante– d'outils de simulation de bonne qualité. Nous n'avons présenté qu'un très modeste échantillon d'outils de simulation comme Witness, SIMULA et QNAP2.

7. ANALYSE DES RÉSULTATS

7.1. Introduction

Les chapitres précédents nous ont donné une large boîte à outils pour construire et simuler des modèles de système discrets. Cela dit, comment pouvons-nous interpréter les résultats de ces simulations ? En effet, on sait que l'exécution d'une simulation fournit une trajectoire (réalisation) d'un certain processus aléatoire et donne des résultats différents si les générateurs de nombres pseudo aléatoires ne sont pas réinitialisés à la même valeur. On conçoit donc que les estimations renvoyées par la simulation doivent être traitées à l'aide de méthodes statistiques rigoureuses pour en tirer des conclusions valides.

Ce chapitre se veut une introduction à ces techniques d'analyse. Nous discernons d'abord divers types de simulation. Nous étudions ensuite les techniques liées à l'analyse des simulations de chaque type, jetant au passage un coup d'œil sur les modèles théoriques de simulation et les résultats qui y sont associés. Nous nous penchons enfin sur des considérations au sujet de l'estimation simultanée de plusieurs paramètres et sur la comparaison de configurations d'un modèle.

7.2. Types de simulations en regard de l'analyse des résultats

Techniquement, les possibilités et les méthodes d'analyse des résultats dépendent de la manière dont on termine le programme de simulation. Par ailleurs, les mesures dont on peut analyser la teneur dépendent aussi de la tendance à la stabilisation ou l'explosion du système. Il est important de concevoir que l'association d'un programme à un type de simulation dépend du paramètre de cette simulation qu'on étudié. Une simulation peut effectivement être considérée d'un certain type lorsqu'on se penche sur un paramètre α, mais doit être considérée d'un autre type si on examine tel autre paramètre β.

On distingue d'abord les simulations terminantes des simulations non terminantes. La spécification des objectifs de l'étude du système modélisé par une simulation terminantes suppose qu'il existe un événement qui met fin au système, interrompant à ce moment le besoin de le simule. Cet événement peut se produire à un moment déterministe ou aléatoire, peu importe : il faut simplement qu'il produise dans tous les cas. La présence de cet événement fait en sorte que le processus stochastique en sortie de la simulation est fini, ce qui nous permet d'appliquer certaines techniques d'analyse.

Une simulation est non terminante lorsqu'un tel événement de conclusion n'est pas défini selon le contexte du paramètre auquel on s'intéresse. On s'intéresse alors au comportement du système à long terme. On s'aperçoit que ce comportement à long terme ne peut être proprement analysé que s'il est stable, c'est-à-dire qu'il présente une tendance invariante. Ce concept de stabilité est défini plus clairement et formellement dans le cadre de ce qu'on appelle les régimes transitoires et permanant d'un système.

7.2.1. Régime transitoire et régime permanent

Considérons un certain processus stochastique Y_1, Y_2… en sortie d'une simulation. Un bon exemple tiré du modèle du comptoir de bonbons serait le processus stochastique formé du temps de séjour dans la boutique des acteurs qui s'y succèdent. On définit $F_i(y|I) = P[Y_i \leq y|I]$ la fonction de répartition de Y_i conditionnelle à l'ensemble des conditions initiales de la simulation (qu'on appelle par ailleurs la fonction de répartition transitoire du processus

stochastique en sortie pour les conditions initiales I. cependant, dans certain cas, passé un certain $i = k$, les répartitions $F_i(y|I)$ ressemblent de plus en plus à une certaine répartition commune $F(y)$.

7.2.2. Types de simulations non terminantes

Le but d'une simulation non terminante consiste à étudier un paramètre dans son état stable de régime permanent. Toutefois, la convergence au système permanent n'est pas toujours un état final du modèle à l'étude. La simulation peut entrer et sortir du régime permanent, selon les événements qui la font évoluer. On distingue donc trois sous types, caractérisés par le paramètre étudié. Le paramètre est de régime permanent si ce paramètre se stabilise une fois pour toutes à partir d'un moment unique dans la simulation. Notons que très peu de systèmes réels intéressants à simuler présentent des paramètres ayant ce comportement.

7.3. Éléments d'analyse statistique

Le but de ce qu'on appelle l'analyse statistique consiste à estimer certains paramètres à partir d'un ensemble de données empiriques. Les paramètres que nous estimons ont une certaine valeur qui nous échappe a priori, ou bien nous voulons vérifier l'adhésion à la réalité d'une inférence théorique au sujet de cette valeur. Nous sommes habitués, par exemple, à vouloir connaître et interpréter la valeur moyenne de ces données, ou encore la variance et l'écart type qu'on observe à même ces données. Ces nombres constituent ce qu'on appelle des estimateurs ponctuels des paramètres qui nous intéressent. Cependant, du point de vue théorique, les données empiriques qui nous sont données sont des valeurs teintées de hasard : si on peut répéter l'expérience qui à engendré les observations, il est fort probable que nous obtenions des valeurs légèrement différentes. Aussi les estimateurs ponctuels changeraient de valeur en fonction de telles autres données.

Ainsi, nos estimations sont des réalisations des variables aléatoires estimateurs. Techniquement, on aimerait que dans la plupart des cas notre estimation ponctuelle tombe très prés de la valeur réelle du paramètre. Si notre but est de se donner une idée du paramètre réel, une valeur de l'estimateur ponctuel perd un peu de son importance en soi. Aussi on peut plutôt s'intéresser à quoi s'attendre du paramètre qu'on estime. En particulier, on peut vouloir déterminer la valeur minimale et la valeur maximale du paramètre à laquelle on peut s'attendre dans une certaine proportion des cas, par exemple dans 95% des cas. Ces valeurs minimales et maximales sont déterminées à partir des observations et définissent ce qu'on appelle un intervalle de confiance.

7.3.1. Analyse statistique des résultats d'une simulation terminante

Soit un système simulé par un événement E, dont on répète l'exécution n fois, chaque fois avec un ensemble disjoint de nombre aléatoires et lancé sous les mêmes conditions initiales. Pour commencer, supposons que nous ne nous intéressons qu'à une mesure de la perfermance du système. Supposons par ailleurs que cette mesure soit échantillonnée pour chacune des instances d'un certain processus linéaire. Le résultat d'une réplication du programme de simulation sera donc un processus stochastique fini (simulation terminante). Considérons m la longueur du plus petit des n processus stochastiques engendrés. Les résultats de la simulation peuvent ainsi être comparés dans le cadre de la matrice $Y = (Y_{ij})$ où $0 \leq i \leq n$ et $0 \leq j \leq m$.

Évidement les variables aléatoires d'un même processus stochastique (sur une même ligne) ne sont pas nécessairement indépendantes. Il suffit de considérer l'exemple d'une file d'attente pour s'en convaincre. Supposons que les Y_{ij} correspondent respectivement au temps d'attente

d'un acteur dans une file. Ce paramètre dépend nécessairement du temps d'attente de tous les acteurs qui précèdent l'acteur j au moment de son arrivée dans la file. Cependant, il est possible de réaliser chacune des réplications de la simulation en utilisant des nombres aléatoires distincts et indépendants. Si Y_{ij} et Y_{kj} (sur une même colonne) sont déterminés à partir d'événements et de calculs qui utilisent des nombres aléatoires $U(0,1)$ indépendants, alors Y_{ij} et Y_{kj} sont eux-mêmes indépendants. L'indépendance mutuelle des variables sur une même colonne ouvre la porte aux techniques d'analyse statistique standard.

7.3.2. Principe de l'estimation

L'estimation d'un paramètre résumant les valeurs d'un caractère dans une population, consiste à donner pour la valeur τ prise par ce paramètre pour la population, une valeur approchée t_n, calculée à partir d'un échantillon, avec autant de précision que possible. On utilise pour cela une statistique T appropriée, en retenant pour τ la valeur $t_n = T(x)$, où x est l'observation de l'échantillon X .

Par exemple, pour estimer une moyenne μ ou une proportion p, on utilisera $\overline{X}$. Pour estimer une dispersion, on peut penser à la statistique V (qui n'est pas la meilleure !). Ces variables prennent alors le nom d'estimateurs.

Pour une estimation ponctuelle, on se contente des valeurs observées sur l'échantillon x valeur de $\overline{X}$, m_n ou f_n suivant les cas pour estimer les valeurs théoriques μ (moyenne d'un caractère quantitatif) ou p (fréquence d'un caractère qualitatif) d'une part, s_n^2 valeur observée de V pour estimer la dispersion σ^2 du caractère dans la population d'autre part.

Le contrôle de la marge d'erreur renvoie à une estimation par intervalle. Par exemple, comment majorer la probabilité de se tromper en donnant pour une moyenne inconnue μ un encadrement issu de la valeur observée x sur l'échantillon :

$$P(\left|\overline{X} - \upsilon\right| < \varepsilon) \geq 1 - \alpha$$

Un niveau de confiance $1 - \alpha$ étant donné (0,9 ou 0,95 suivant les degrés de fiabilité que l'on souhaite), si l'on sait calculer cette probabilité, on peut obtenir une valeur minimale pour ε (le demi écartement de la fourchette), telle qu'avec une probabilité meilleure que $1 - \alpha$ on puisse affirmer que μ est dans l'intervalle

$$\left]\overline{X} - \varepsilon; \overline{X} + \varepsilon\right[.$$

La détermination de ε dans diverses situations concrètes est le problème du calcul des intervalles de confiance.

7.3.2.1. Estimation par intervalle de confiance

On veut estimer la valeur d'un paramètre τ relatif à un caractère X défini sur une population P. Une estimation ponctuelle à partir d'un échantillon ne renseigne pas sur la précision de l'approximation de τ. On voudrait donc obtenir un intervalle aléatoire, pas trop grand, à partir de l'échantillon prélevé, tel que la probabilité qu'il contienne τ soit acceptable.

Cette probabilité sera appelée niveau de confiance de l'estimation, on la désigne par $1 - \alpha$ Le nombre α est le risque que l'on prend de se tromper en affirmant que τ est bien dans

l'intervalle proposé. Pour préciser cela, prenons un niveau de confiance de 90 %. A chaque échantillon correspond la valeur observée *t* de l'estimateur *T* utilisé.

On considère l'intervalle centré en *t* : $]t - \varepsilon \; ; \; t + \varepsilon[$, où ε est choisi de sorte qu'en moyenne, pour 9 échantillons sur 10, τ soit dans $]t - \varepsilon \; ; \; t + \varepsilon[$. Autrement dit, on désire trouver ε tel que $P(\tau \in]T - \varepsilon; T + \varepsilon[) \geq 0{,}9$. On a rencontré cette situation dans le cas où τ est l'espérance mathématique de la variable parente. On a vu que l'inégalité de Bienaymé-Tchebychev donne alors une solution, mais celle-ci se révèle peu performante. Pour avoir un bon résultat, le calcul de cette probabilité fait nécessairement intervenir la loi de *T*.

L'intervalle aléatoire $]T - \varepsilon, \; T + \varepsilon[$ est appelé intervalle de confiance pour τ de niveau $1 - \alpha$. L'intervalle réel $]t - \varepsilon, \; t + \varepsilon[$ est l'observation de l'intervalle de confiance ou la fourchette. On ne sait pas avec certitude si τ est dedans.

CHAPITRE III

PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE DE MODELISATION ASCI-générique

1. ENVIRONNEMENT DE MODÉLISATION POUR LES SYSTÈMES HOSPITALIERS

1.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons détailler cinq sections, nous commençons par définir l'environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers, dans la deuxième section nous proposons une méthodologie de modélisation et de simulation, dans la troisième section nous détaillons le passage de modèle de connaissance vers le modèle d'action, puis dans la quatrième section nous définissons le passage de modèle de files d'attente vers le modèle de simulation, enfin nous donnons la connexion entre les modèles de l'hôpital. Dans cette section nous définissons une méthodologie de modélisation, utilisée pour les systèmes hospitaliers, ainsi qu'un environnement de modélisation constitué de plusieurs couches.

1.2. Environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers

La simulation est aujourd'hui largement utilisée car elle permet le test d'hypothèses et l'anticipation de certains résultats. La programmation des modèles demeure une partie non négligeable lors de l'utilisation de la simulation. L'apport et l'efficacité de la simulation sont augmentés si celle-ci est utilisée dans un environnement de développement [NMO, 1981]. La prise en compte de ces remarques conduit à la réalisation d'un environnement de modélisation qui correspond à une surcouche de simulateur. Les travaux de [Gourgand, 1997] proposent une méthodologie de modélisation des systèmes complexes. Les comparaisons des différents environnements de modélisation existants peuvent ainsi être réalisées visuellement à l'aide de cible représentant les fonctionnalités qu'ils offrent. Une cible met en valeur les différentes couches nécessaires au bon fonctionnement d'un environnement ainsi que les interfaces nécessaires à la communication des différentes couches. Nous avons proposés un environnement de modélisation appliqué au système hospitalier, sachant que cet environnement de modélisations peut être appliqué à d'autres types de systèmes. Ainsi chaque environnement de modélisation correspond à un ensemble de méthodes et d'outils répartis en couches :

- Un logiciel d'évaluation des performances (nécessitant une phase de validation s'il repose sur la simulation), Witness, QNAP2 et SIMULA.
- Une couche graphique (GUI : Graphic User Interface) : pour la saisie du modèle conceptuel. Pour la spécification du fonctionnement, pour l'exploitation des résultats, et pour l'animation.
- Une couche aide à la décision pour accéder à des outils d'aide à la décision.
- Une couche gestion des données pour l'accès à des bases de données (suite à la récolte de statistiques…).
- Une couche recherche opérationnelle et statistique pour exploiter les résultats fournis par les modèles et pour déterminer le meilleur routage, un nouveau phasage,…
- Une couche méthodes d'analyse et de spécification contenant des outils pour la description de la structure, des flux présents dans le système et du fonctionnement du système.
- Une couche méthodologie de modélisation du domaine pour la construction de modèles de simulation sans qu'il soit nécessaire de posséder des compétences dans ce domaine. Le modèle de simulation est alors construit automatiquement à partir du modèle de connaissance.

La couche d'évaluation des performances est centrale car elle est la raison de la conception de l'environnement, les autres couches sont présentes pour faciliter et améliorer l'évaluation des performances des systèmes pour lequel l'environnement à été conçu. Toutes les couches communiquent entre elles et avec l'extérieur par le biais d'interfaces. Ces différentes couches et leurs interfaces sont représentées par une cible.

La figure 3.1.1 représente un environnement de modélisation que nous avons construit, il est composé de six couches. La couche centrale est l'outil de simulation (SIMULA, WITNESS, QNAP2) ; une couche méthodes d'analyse et de spécification constituée de trois approches de l'outil ARIS (macroscopique, méscoscopique et microscopique) ces trois approches sont définies et détaillées dans le chapitre 4. Ainsi qu'une méthodologie ASCI utilisée dans la couche externe de l'environnement de modélisation.

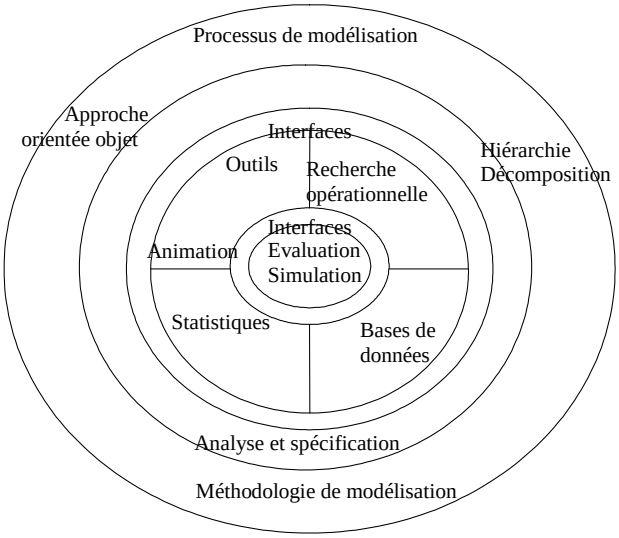


Figure 3.1.1 : Environnement de modélisation d'un système hospitalier

2. METHODOLOGIE DE MODÉLISATION ET DE SIMULATION

2.1. Introduction

Nous présentons dans cette section une méthodologie de modélisation et de simulation appliquée au système hospitalier, ainsi que les algorithmes généraux des simulations en SIMULA, Witness et QNAP2.

La méthodologie adaptée est ASCI-générique (Analyse Spécification Conception et Implantation) dont les principales étapes sont représentées en figure 3.2.1.

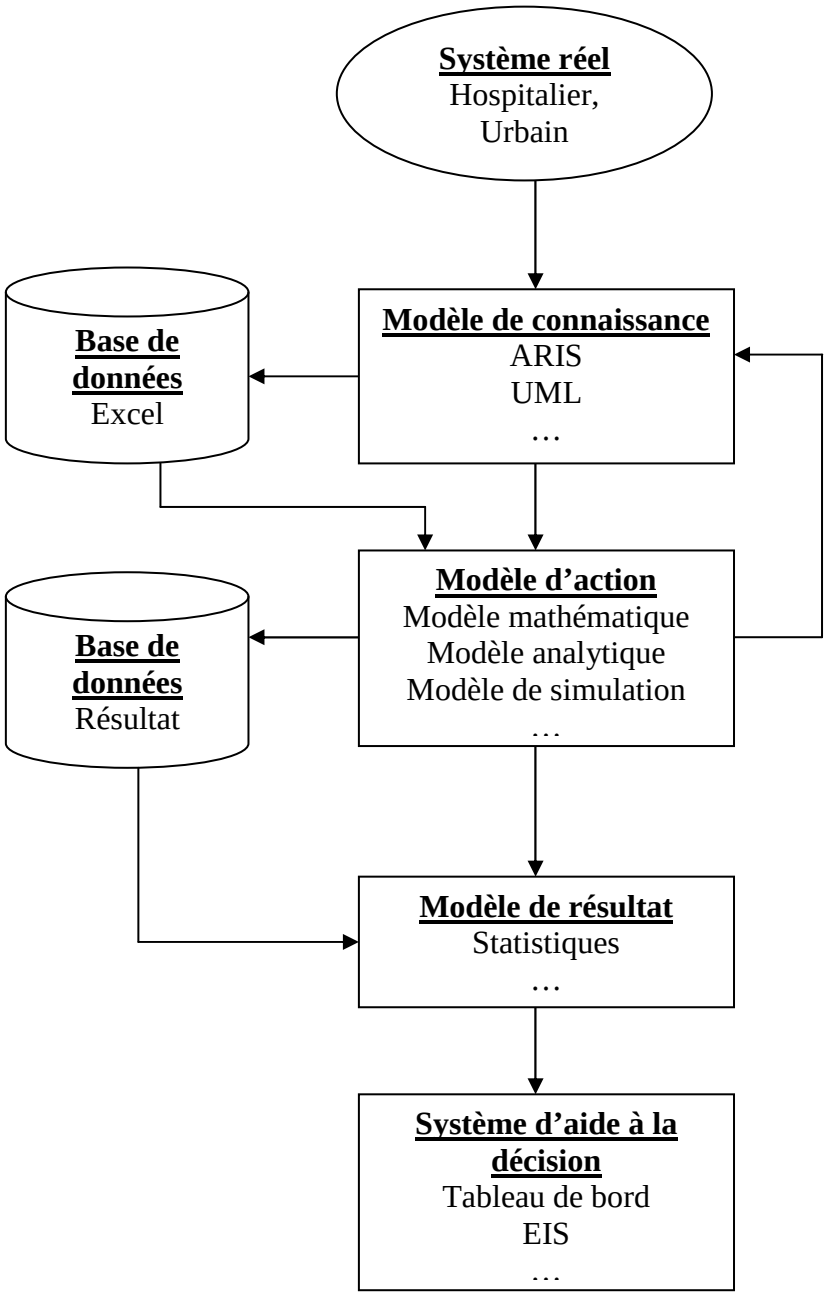


Figure 3.2.1 : Méthodologie de modélisation et de la simulation ASCI-générique

A partir d'un système réel, dans notre cas un système hospitalier, il s'agit d'étudier ce système et de le modéliser. Pour cela on a opté de choisir l'outil de modélisation ARIS (chapitre 2, section 3) afin d'analyser et de décrire le fonctionnement du système, des diagrammes UML ont complété la modélisation car ARIS ne dispose pas de diagrammes pour modéliser les données. Après la modélisation on a pu construire une base de données contenant des éléments du modèle de connaissance. Cette dernière permet de créer des modèles d'action ou de simulation qui produisent ensuite des modèles de résultats que l'expert peut commenter. Enfin ces modèles de résultats peuvent être utilisés pour créer un tableau de bord afin de mieux visualiser les résultats importants concernant le fonctionnement du système.

2.2. Modèle générique de connaissance

A l'aide de l'outil ARIS et de la modélisation UML nous avons réalisé un modèle générique de connaissance pour le système hospitalier en se basant sur deux pôle : logistique et imagerie. Chaque module de connaissance est décomposer en trois sous système : logique, physique et décisionnel.

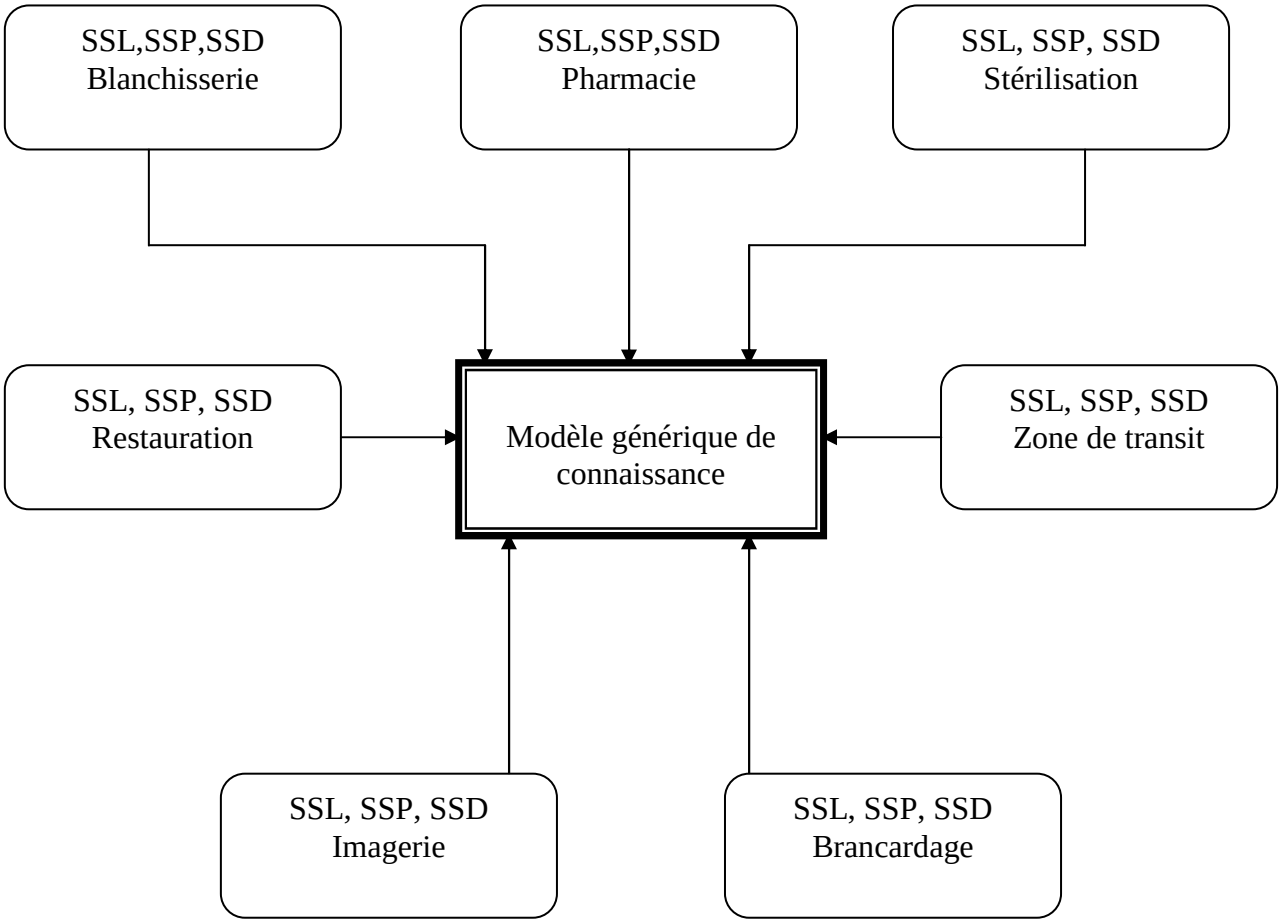


Figure 3.2.2 : Modèle générique de connaissance

.

2.3. MODÈLE D'ACTION

Les modèles d'action du système hospitalier sont représentés par des modèles de réseaux de files d'attente, des modèles de simulation en SIMULA, QNAP2 et des modèles graphiques de Witness.

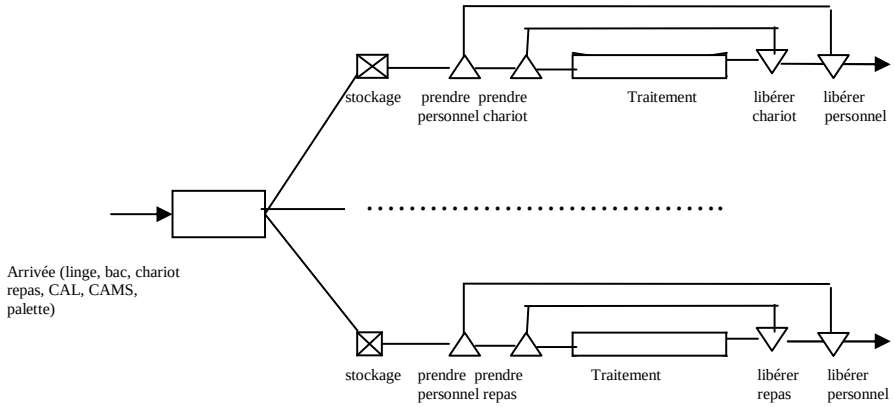


Figure 3.2.3 : Modèle de files d'attente

Le modèle de files d'attente ci-dessus est constitué des éléments de flux (arrivée matériel, …), des événements, des ressources prises et rendus ainsi que des durées de traitement. Donc ce modèle nous donne une vue détaillée du fonctionnement.

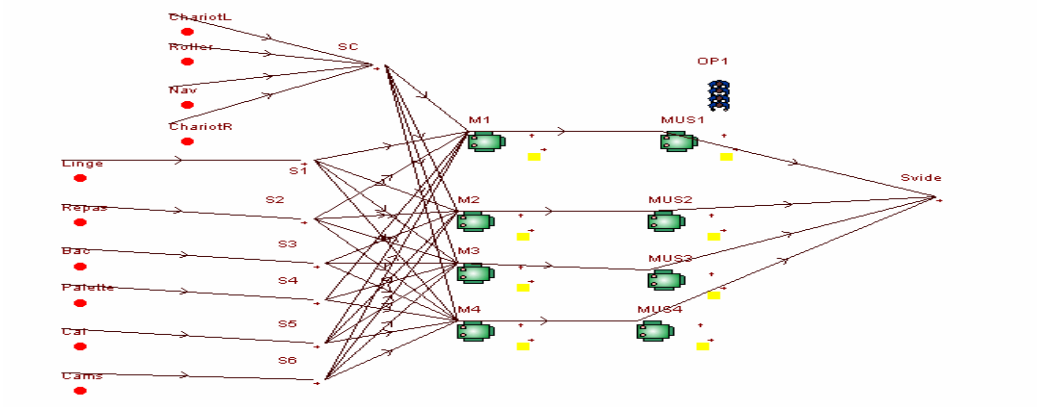


Figure 3.2.4 : Modèle Witness

Le modèle en Witness est représenté par des fenêtres de paramètres des composants et un graphique en 2D qui permet d'animer le fonctionnement du système en temps réel. Il est constitué d'articles (linge, repas, …), de ressources, de stocks et de machines qui réalisent le routage d'un service à l'autre.

```
%  simulation zone de transit


!*** Linge;
    transaction CLASS MLINGE(j);integer j; ! demande de mission;
    BEGIN Integer i;
      NbDech:=NbDech+1;
      outfix(time,3,10); outtext("Arrivee MLinge"); outimage;

      Priority := 1;
      Enter_storage(Personne,1); ! prise ressource personne;
      outfix(time,3,10); outtext("Decharg MLinge"); outimage;
      for i:=1 step 1 until QL(j) do hold(uniform(0.1, 0.2, u));
      ! QL(j) fois durée un sac;
      NbDech:=NbDech-1;
      Leave_storage(Personne,1); ! rendu ressource personne;
      priority:=-10; ! min priority;
      outfix(time,3,10); outtext("FinDech MLinge"); outimage;

      ! Attente mission;
      Wait_until((Personne.Contents < Personne.Capacity) and
(NbDech=0));

      Enter_storage(ChariotL,1); ! prise ressource chariot Linge;
```

Figure 3.2.5 : Fragment du modèle SIMULA

Le modèle en GPSSS sous SIMULA (fragment ci-dessus) est constitué de transactions, de serveurs ainsi que de ressources.

```
/DECLARE/QUEUE bac,pa,repas,linge,cal,cams,us1,us2,us3,us4;

/STATION/ NAME=bac;
          TYPE=SOURCE;
          SERVICE=UNIFORM(5, 10);
          TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=pa;
          TYPE=SOURCE;
          SERVICE=UNIFORM(5, 10);
          TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=repas;
          TYPE=SOURCE;
          SERVICE=UNIFORM(5, 10);
          TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=linge;
          TYPE=SOURCE;
          SERVICE=UNIFORM(5, 10);
          TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=cal;
          TYPE=SOURCE;
          SERVICE=UNIFORM(5, 10);
          TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
…
```

Figure 3.2.6 : Fragment du modèle QNAP2

La figure 3.2.6 montre le principe de fonctionnement d'un modèle en QNAP2. Les stations sont spécifiées, leur service est défini ainsi que le transit pour effectuer le routage des éléments de flux vers d'autres stations. Les ressources sont des stations particulières. Pour en savoir plus sur le fonctionnement de ces trois sortes de modèles d'action nous allons en donner le détail.

2.4. Algorithme du programme en SIMULA

L'algorithme général du programme de simulation en SIMULA de la zone de transit est représenté par l'organigramme ci-dessous :

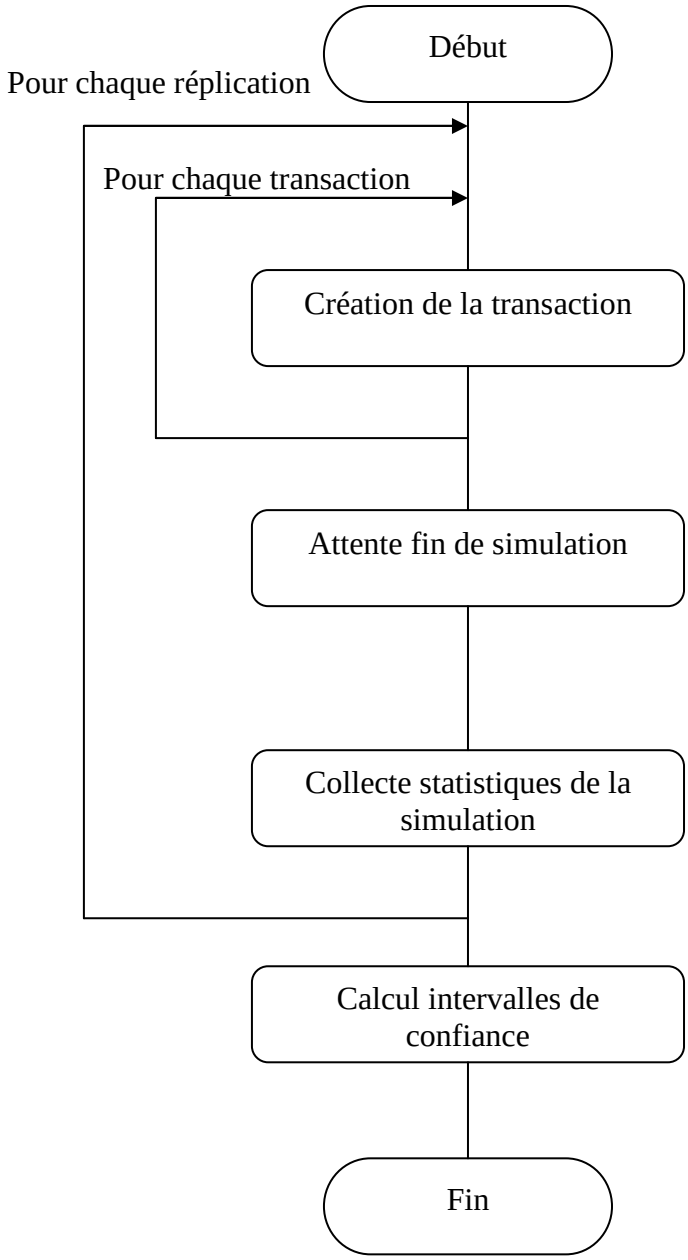


Figure 3.2.7 : Algorithme de principe du modèle SIMULA de la zone de transit

Une transaction correspond à une demande de mission et s'effectue selon l'algorithme ci-dessous.

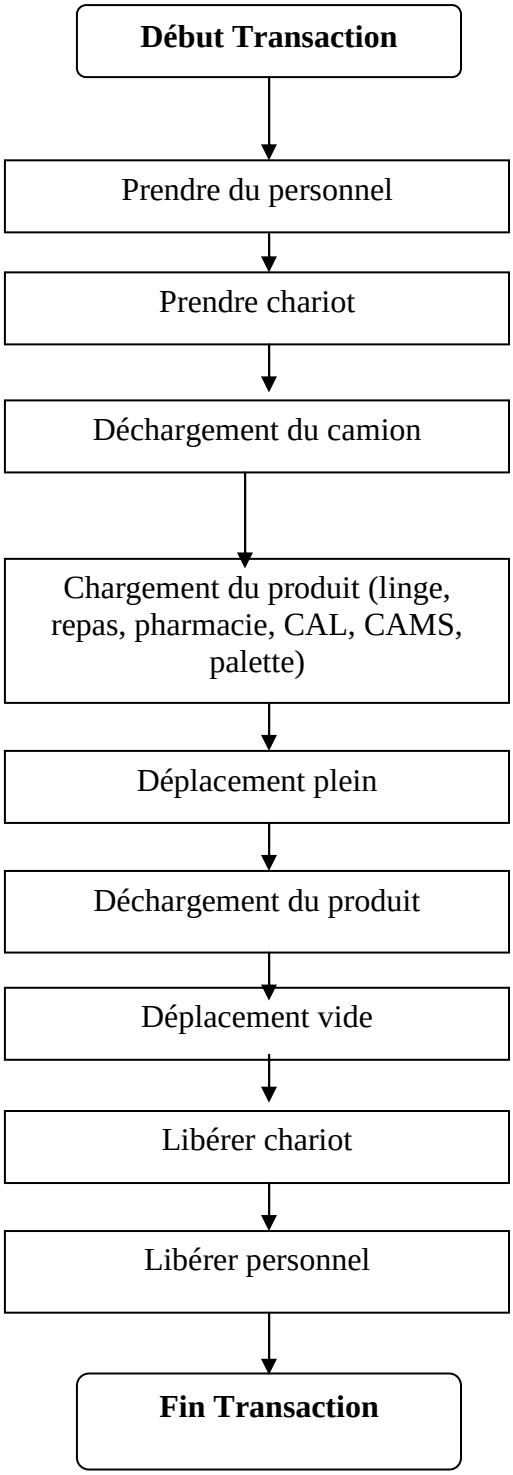


Figure 3.2.8 : fragment d'une transaction en SIMULA pour la livraison

2.5. Blocs d'un modèle en QNAP2

QNAP2 utilise directement une spécification en blocs du réseau de file d'attente. Le détail des prises et des rendus de ressources est décrit en langage de simulation QNAP2 dans la partie service des stations concernées. Le fonctionnement du modèle est assuré par le noyau de simulation de QNAP2. Le traitement des stations en QNAP2 est cyclique. Les ressources ainsi que les événements entrée/sortie de clients des stations sont gérés au niveau des stations jusqu'à l'arrêt programmé de la simulation (durée de simulation limitée). La figure 3.2.10 en donne une représentation synthétique.

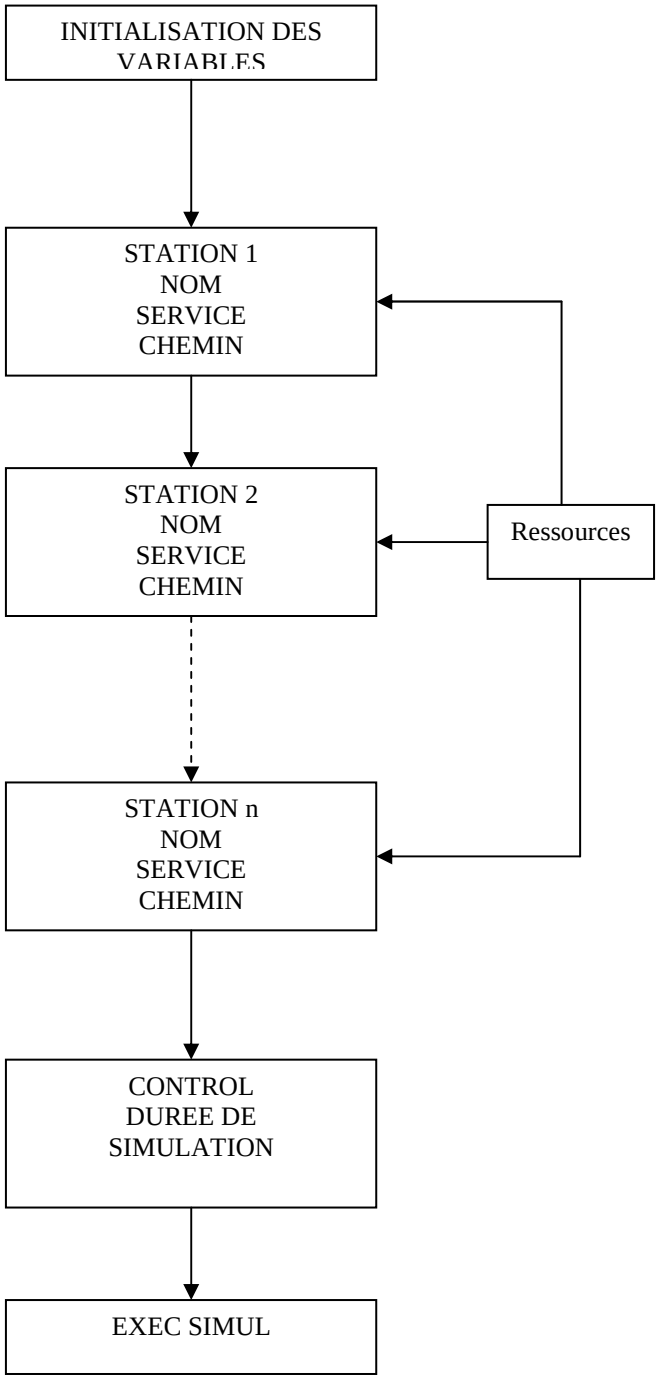


Figure 3.2.9 : Séquence des principaux blocs des modèles en QNAP2

3. PASSAGE DU MODÈLE DE CONNAISSANCE VERS LE MODÈLE D'ACTION

3.1. Introduction

Dans cette section nous détaillons le passage du modèle de connaissance construit à l'aide de l'outil ARIS vers le modèle d'action ou de simulation en Witness, SIMULA et QNAP2. Pour cela nous sommes obligés de compléter le modèle de connaissance par la notion d'objet utilisé par UML.

3.2. Principes généraux

Après avoir complété les CPE ARIS par des diagrammes UML (classes et associations), l'originalité de notre démarche repose sur la construction d'un modèle intermédiaire de réseau de files d'attente qui permet, dans des cas simples, la mise en œuvre de méthodes exactes ou approchées. En général, la simulation est la seule méthode applicable en raison de la gestion plus ou moins complexe des ressources. Néanmoins, ce modèle intermédiaire est parfaitement adapté à une migration vers des modèles pour QNAP2, le solveur de réseaux de files d'attente, ou des outils de simulation tels que SIMULA ou Witness. Le pôle imagerie est donné à titre d'exemple (figure 3.3.1) pour illustrer la démarche.

Les méthodes dans chaque classe diffèrent selon les modèles d'actions ou de simulation. Par exemple, en Witness les méthodes sont de type : Push (pousser un stock, article, ressource) et Pull (tirer un stock, article, ressource). En SIMULA les méthodes sont de type : Enter_region et Leave_region (collecter les données pour effectuer automatiquement les statistiques), Enter_storage et Leave_storage (pour gérer des stocks ou des ressources). QNAP2 est doté d'un langage orienté objet, les principales méthodes sont définies par la notion de service apporté à un client et le routage (Transit des clients vers des stations) et la création des clients par des sources.

Pour passer du modèle de connaissance ARIS vers le modèle d'action ou de simulation Witness le principe suivant a été utilisé. Les éléments de flux patients sont représentés par des articles rangés dans des stocks en fonction du type d'examen. Ils deviennent disponibles à l'heure de rendez-vous modifiée par une durée aléatoire correspondant à un retard ou à l'arrivée en avance du patient. Le processus d'arrivée est pris en charge par une machine secrétaire qui prélève les éléments de flux dans un stock, lorsqu'ils deviennent disponibles. Les activités du diagramme de chaîne événementielle CPE sont remplacées par des ressources et des machines qui exécutent un service correspondant au temps de traitement. Le processus de sortie est représenté par la mise en stock des éléments de flux traités.

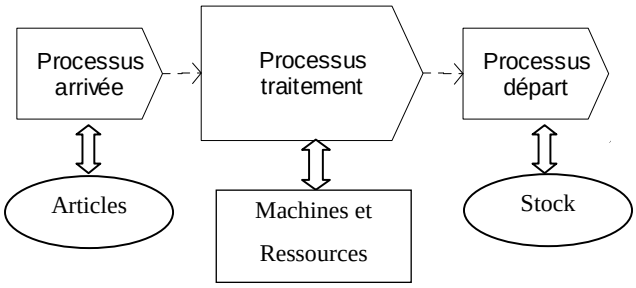


Figure 3.3.1 : Passage du modèle ARIS vers Witness

Pour passer du modèle de connaissance ARIS vers le modèle SIMULA on a utilisé le principe suivant :

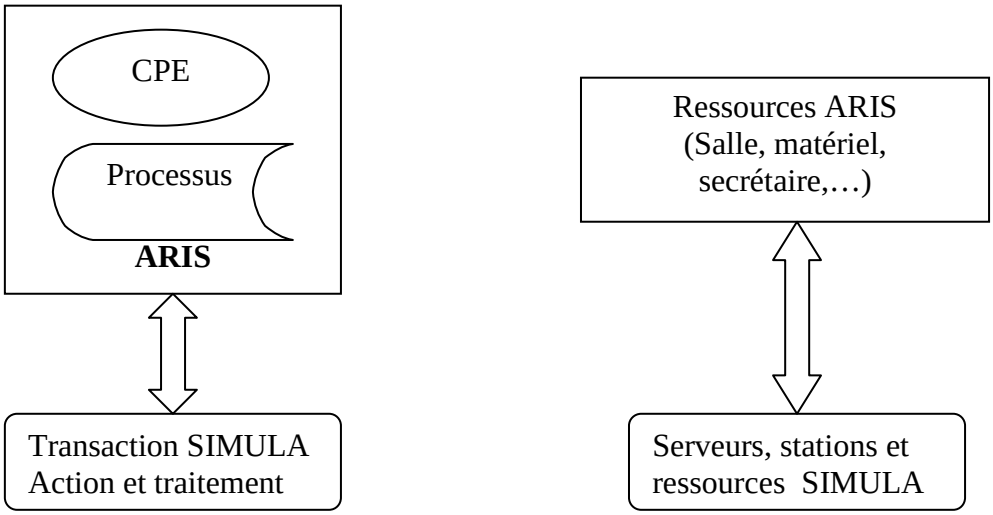


Figure 3.3.2 : Passage du modèle ARIS vers SIMULA

Les CPE (chaîne de processus événementielle) et les processus modélisés par ARIS représentent des transactions en SIMULA. Les ressources ARIS (salle, matériel, secrétaire,…) représentent des serveurs, des files, des stations, des stocks et des ressources en SIMULA. La classe Gpsss, entre autres, implante ces notions et le langage orienté objet facilite la programmation.

Exemple Witness
Définition des articles :

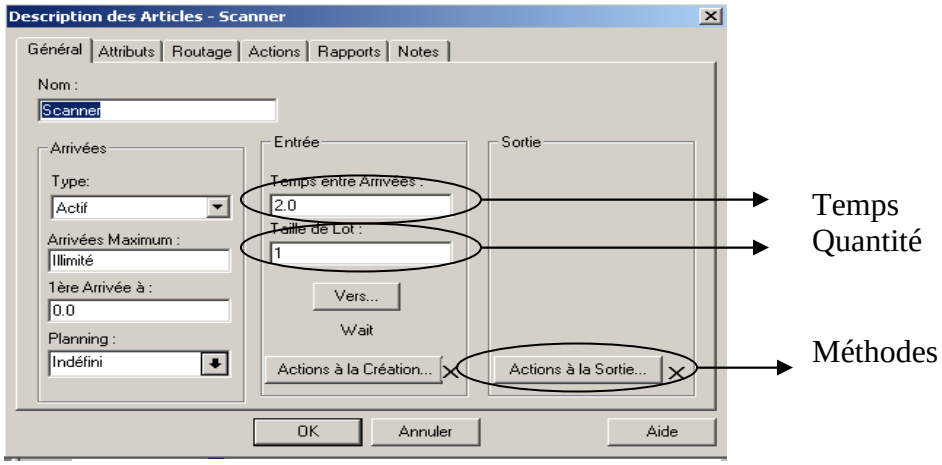


Figure 3.3.3 : Définition d'un article Witness

Cette figure donne une description générale d'un article utilisé dans Witness. Sachant qu'un article peut être un matériel (linge, médicament, repas, …) qui est défini par des propriétés comme le temps et la quantité, ainsi que des méthodes ou actions qui sont des programmes écrits en langage Basic.

3.3. Conclusion

Ce chapitre a montré l'utilité de compléter le modèle de connaissance ARIS par le modèle de classe UML afin de passer vers le modèle d'action ou de simulation Witness, QNAP2 et SIMULA. Le modèle ARIS ne contient pas des données suffisantes pour faire ce passage, pour cela nous avons besoin d'autres éléments quantitatifs. Ce passage est décrit dans la section suivante de ce chapitre.

4. PASSAGE DU MODÈLE DE FILES D'ATTENTE VERS LE MODÈLE D'ACTION

4.1. Introduction

Cette section donne un aperçu sur le passage de modèle de files d'attente vers le modèle d'action ou de simulation SIMULA, QNAP2 et Witness. Nous commençons par la définition d'une file d'attente puis nous donnons les règles de passage d'un modèle de files d'attente vers le modèle de simulation, enfin nous présentons une méthode de passage d'un modèle de connaissance vers le modèle d'action.

4.2. Présentation générale des files d'attente

La salle de réservation dans une grande gare SNCF donne une bonne représentation d'une file d'attente. Elle comprend un certain nombre de guichets et des clients qui sont, soit en train d'être servis, soit en attente. La salle de réservation forme le système. Elle peut être de capacité totale finie ou infinie. Les clients arrivent de manière aléatoire selon un flot régulier. Les temps de service sont également aléatoires. On va chercher à savoir si la longueur de la file d'attente a un comportement stationnaire et dans ce cas à calculer sa loi. Cela permet d'optimiser le nombre de guichets nécessaires pour satisfaire les clients. On rencontre des files d'attente dans de nombreux cas. On vient de voir une file d'attente dans un organisme fournissant un service à un certain public. On rencontre une file d'attente à l'entrée d'une unité d'un système informatique lorsque les travaux qui arrivent se mettent en attente avant d'être traités par cette unité. Il en est de même à l'entrée d'un poste de travail dans une usine pour les pièces qui doivent être traitées à ce poste. On mesure sur ces exemples l'intérêt de la connaissance du mécanisme de formation d'une file d'attente pour optimiser un système informatique ou un atelier de production.

4.2.1. Description du modèle

Une file d'attente est décrite par plusieurs éléments : la loi des temps d'arrivée des clients, la loi des temps de service, le nombre de serveurs, la longueur maximum de la file d'attente, l'ordre dans lequel les clients sont servis. Reprenons chacun de ces éléments.
Les *instants d'arrivée des clients* sont en général aléatoires. Pour pouvoir calculer des grandeurs caractéristiques de la file d'attente, on doit connaître les lois probabilistes de ces temps d'arrivée, ou tout au moins faire certaines hypothèses sur ces lois qui seront vérifiées en pratique et qui rendront les calculs possibles. La première hypothèse faite est qu'il n'arrive qu'un client à la fois. La deuxième hypothèse est l'homogénéité dans le temps ; cela se traduit par le fait que les temps d'inter arrivé des clients sont des variables aléatoires qui ont même loi. Cette hypothèse est vérifiée lorsque l'on étudie une file d'attente durant une période où les conditions qui amènent les clients sur la file sont semblables. Une autre hypothèse qui sera faite dans ce cours est l'indépendance probabiliste des temps d'inter arrivée des clients ; cette hypothèse simplifie notablement les calculs probabilistes mais elle est moins claire à justifier en pratique ; on peut vérifier sa validité en faisant des tests statistiques. Enfin on supposera connue la loi des temps d'inter arrivée. Le cas le plus courant est celui où cette loi est une loi exponentielle. Dans ce cas le modèle des temps d'arrivée est appelé un processus de Poisson. Cette hypothèse a deux mérites. D'abord elle est souvent vérifiée en pratique. Ensuite elle se prête bien au calcul probabiliste. Évidemment d'autres cas peuvent se présenter : temps d'inter arrivée constants, de loi uniforme, de loi lognormale ou de loi gamma.. .

On suppose que les *durées de service* sont des variables aléatoires indépendantes de même loi, indépendantes du processus des arrivées. Ces hypothèses sont souvent vérifiées en pratique. Il est courant de supposer que cette loi est exponentielle. Cette hypothèse simplifie les calculs, mais elle n'est pas toujours vérifiée. On peut être amené à considérer des temps de services constants, de loi uniforme, de loi gamma, de loi lognormale…
Le *nombre de serveurs* est évidemment un paramètre important du modèle. La *longueur maximum de la file d'attente* est également un paramètre du modèle. On peut supposer que la file d'attente peut être aussi longue que l'on veut. C'est raisonnable dans certains cas. Cependant dans d'autres cas la longueur est limitée et lorsque la longueur de la file est maximum, un client qui arrive ne peut pas se mettre en file d'attente et repart. Il faut tenir compte de ce phénomène dans les calculs. Le plus souvent les clients sont servis dans leur ordre d'arrivée. C'est la *discipline de service FIFO* (First In First Out).Mais d'autres disciplines peuvent être utilisées. Par exemple on peut servir en priorité certains types de clients, ou les clients demandant un service de courte durée. Pour résumer les caractéristiques d'une file d'attente, on utilise classiquement

Les *notations de* Kendall :
loi d'inter arrivée / loi de service / nombre de serveurs / longueur max. de la file Les lois d'inter arrivées et les lois de services sont notées symboliquement : M pour une loi exponentielle (M pour Markov), D pour une loi déterministe (variable aléatoire constante), U pour une loi uniforme, G pour une loi quelconque (générale). Par exemple une file M/M/*s*/1 signifie que le flot d'arrivées des clients est poissonnien, la loi de service est exponentielle, il y a *s* serveurs et la capacité de la salle d'attente est illimitée. Lorsqu'on ne spécifie pas le dernier paramètre celui-ci est infini. Sauf avis contraire la discipline de service est FIFO.
Deux grandeurs interviennent pour caractériser le modèle : le *nombre moyen d'arrivées par unité de temps* et la *durée moyenne d'un service*. Ces nombres se déduisent des lois d'inter arrivée et de service. Par exemple si le processus d'arrivée est poissonnien, le temps moyen d'inter arrivé vaut l'inverse du paramètre de la loi exponentielle et le nombre moyen d'arrivées par unité de temps vaut ce paramètre. Si la loi du temps de service est exponentielle, la durée moyenne de service vaut l'inverse du paramètre de la loi exponentielle.

4.2.2. Comportement de la file d'attente

On cherche à étudier l'évolution dans le temps de la longueur de la file d'attente. Deux cas peuvent se produire lorsque la longueur de la file n'est pas limitée. Dans le premier cas la file peut grandir de plus en plus et sa longueur tendre vers l'infini. Dans le deuxième cas la file se stabilise ; il y a des fluctuations mais un *état stationnaire* se met en place. Le premier problème à résoudre est de prévoir selon les paramètres de modèle dans quel cas on se trouve. Intuitivement on peut donner une réponse. Si ¸ est le nombre moyen d'arrivées par unité de temps, si μ est le nombre moyen de clients que chaque serveur peut servir par unité de temps et si *s* est le nombre de serveurs, la file d'attente se stabilise s'il n'arrive pas trop de clients pour saturer l'offre de service, c'est-à-dire si ¸ est plus petit que *s*μ. Il faut donner un sens précis à ces concepts et démontrer ce résultat. Lorsque la longueur de la file est limitée, un régime stationnaire s'établit toujours. Dans le cas où un régime stationnaire s'établit, il est intéressant de connaître la loi de probabilité ou tout au moins la valeur moyenne d'un certain nombre de grandeurs caractéristiques. On peut citer la *longueur de la file d'attente*, le *temps passé par un client en attente*, le *nombre de serveurs occupés*. Dans le cas d'une file d'attente M/M/s, nous calculerons analytiquement ces lois de probabilités et les valeurs moyennes associées. Dans d'autres cas, nous pourrons seulement calculer les valeurs moyennes. Dans

tous les cas il est possible de simuler le fonctionnement de la file d'attente pour obtenir des informations sur ces lois de probabilités par des techniques statistiques.

4.2.3. Réseau de files d'attente

Le fonctionnement d'un atelier de production peut être modélisé par plusieurs files d'attente en interaction. Chaque poste de travail constitue une entité où un service est rendu, les éléments nécessaires pour ce service étant en attente, les produits réalisés partant vers d'autres postes de travail, puis vers l'extérieur à la fin de la chaîne de traitement. Ceci constitue un système de files d'attente en interaction, un réseau de files d'attente. Un système informatique est aussi constitué de plusieurs éléments qui traitent plusieurs programmes à la fois, chaque programme attendant avant d'être traité par un élément que son tour arrive, puis partant vers un autre élément et ainsi de suite jusqu'à la fin du traitement.

4.2.4. Description du modèle

La description d'un réseau de files d'attente comprend la *description de chaque file d'attente* du réseau (on dira souvent chaque station du réseau) et la *description de la circulation des clients* entre ces stations et entre l'extérieur et le réseau. La description de chaque station est celle vue au paragraphe précédent. Chaque client qui entre dans une station se met en attente et reçoit un service selon les règles de la station. Le modèle le plus simple de circulation des clients entre les stations est le suivant. Chaque station est éventuellement alimentée de l'extérieur par un flot régulier d'arrivée de clients et reçoit de la sortie d'un certain nombre de stations un flot de clients. À la sortie de chaque station, chaque client se dirige soit vers l'extérieur, soit vers une autre station du réseau selon un tirage au sort de probabilité donnée. Un tel réseau de files d'attente est donc décrit par les *caractéristiques internes de chaque station* (nombre de serveurs, loi de service, longueur maximum de la file, discipline de service), par la *loi des temps d'arrivée de l'extérieur* en chaque station et par les *probabilités de routage* à la sortie de chaque station vers l'extérieur ou vers chacune des autres stations. Le *modèle d'arrivée* le plus courant est le processus de Poisson. On suppose que pour chaque flot d'arrivée de clients de l'extérieur vers une station, les temps d'inter arrivé des clients forment une suite de variables aléatoires indépendantes de même loi exponentielle. Ce modèle est souvent observé en pratique et est commode pour faire des calculs probabilistes. Mais on peut observer d'autres modèles d'arrivée de clients avec des temps d'inter arrivée constants ou suivant d'autres lois de probabilité. Le paramètre le plus important est le nombre moyen d'arrivées par unité de temps en chaque station. Le *routage à la sortie* de chaque station est caractérisé par la probabilité de sortie vers l'extérieur et les probabilités de transit vers les stations du réseau. Certaines de ces probabilités peuvent être nulles. Ce sont les probabilités non nulles qui déterminent les transits pouvant effectivement se réaliser. On distingue deux types de réseaux : les *réseaux fermés* et les *réseaux ouverts*. Un réseau fermé n'a aucun lien avec l'extérieur. Un réseau ouvert a au moins un flux d'entrée et un flux de sortie.

4.2.5. Comportement du réseau

Comme pour une seule file d'attente, la première étape de l'étude d'un réseau consiste à savoir si le réseau va saturer, c'est-à-dire si la longueur d'au moins une des files d'attente va tendre vers l'infini. En général il est assez facile de *calculer les flux moyens* qui s'établissent entre les stations si un régime stationnaire se met en place. En effet il suffit d'écrire que les flots moyens d'entrée et de sortie en chaque station sont égaux pour obtenir un système linéaire qui permet de calculer le flux moyen de clients sur chaque lien du réseau en régime

stationnaire. En comparant pour chaque station le flux moyen d'entrée et l'offre moyenne de service, on peut déterminer s'il y a *saturation* ou non. Lorsqu'il n'y a pas saturation s'établit un *régime stationnaire*. Il est alors intéressant de connaître les lois de probabilité ou tout au moins les valeurs moyennes des grandeurs caractéristiques en chaque station : *longueur de la file d'attente, temps passé par un client en attente, nombre de serveurs occupés*. Dans le cas où toutes les files d'attente sont M/M/s et où les routages sont suffisamment simples, on sait calculer ces lois de probabilité. Dans les autres cas, on a la plupart du temps recours aux techniques de simulation. Cette étude permet de guider des choix pour *optimiser le comportement du réseau*. Bien sûr en pratique les réseaux étudiés sont souvent plus complexes que ceux évoqués ci-dessus. Il peut y avoir plusieurs classes de clients. Diverses synchronisations entre les services peuvent exister. Les études analytiques donnent alors des résultats insuffisants et on utilise les *techniques de simulation*.

4.3. Passage modèle files d'attente vers modèle de simulation

Le passage de modèle de files d'attente vers les modèles de simulation (SIMULA, QNAP2 et Witness) est réalisé par les principes suivantes :

4.3.1. Passage modèle de files d'attente vers SIMULA

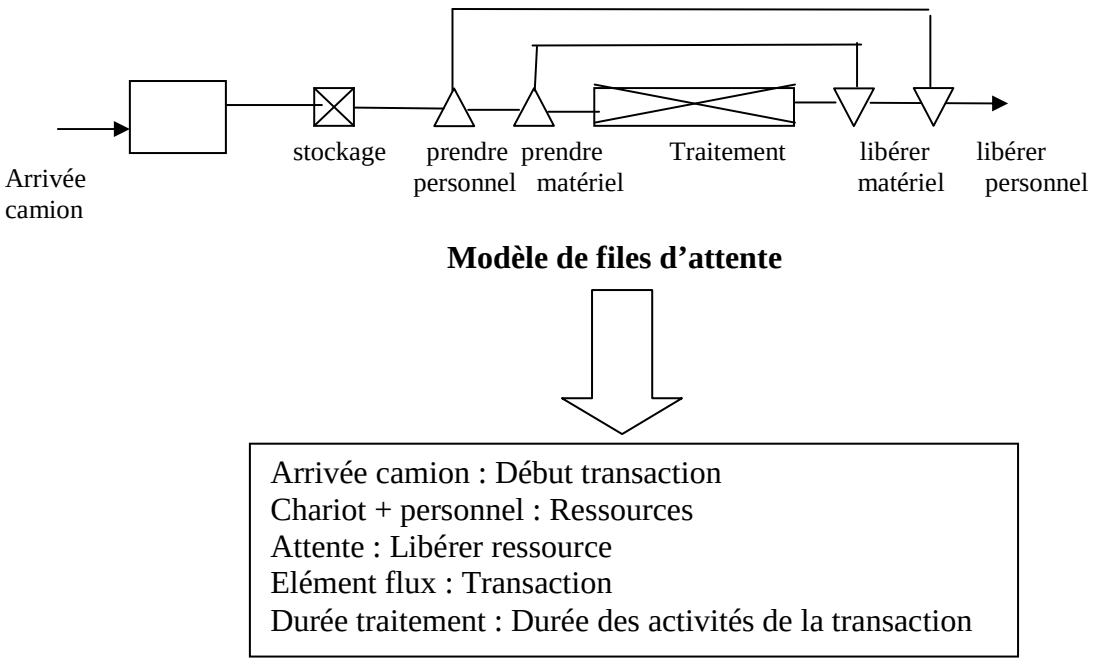


Figure 3.4.1 : Passage modèle de files d'attente vers SIMULA

Pour schématiser, le passage réseau de file d'attente vers le modèle SIMULA est basé sur les principes de traduction des éléments constituant un modèle de file d'attente par les composants d'un modèle SIMULA. Cette traduction peut être synthétisée par les interprétations suivantes.

Queue → Début transaction

L'évènement représentant l'arrivé du Camion a été considéré dans le modèle SIMULA comme la source où le moteur de simulation commence à déclencher le séquencement évènementiel de la simulation.

Matériel → Ressources

Il s'agit de considérer les moyens (ressources humaine, et matériels) comme des ressources dans la modèle SIMULA. Compte tenu de la multiplicité de choix d'une ressource, elle peut être 'libre' ou 'utilisé' ce qui peut influencer le déroulement de la simulation selon les états de chaque ressource. Ce fait nous mène à des considérations de chaque état de la ressource (passif, actif). Cette considération pose un problème par rapport à cette interprétation dans le modèle SIMULA qui à un aspect différent dans sa première présentation dans la file d'attente. Une ressources est soit : prise ou libérée. Donc l'interprétation de ressource n'implique pas uniquement l'utilisation de l'élément ressources mais également son état qui doit avoir une représentation adaptée selon le modèle SIMULA.

Un autre problème se pose par rapport à l'état 'en attente' qui peut apparaitre dans le cas 'File d'attente' qui est considéré comme un troisième état nécessitant d'avoir une interprétation permettant de montrer effectivement que la ressource sera libéré juste après son utilisation. L'analyse de cet état nous a conduit tout droit à des considérations résultantes après l'interprétation des résultats statistiques donnés par SIMULA. A notre point de vue cette solution est efficace quand on prend en considération les précisions et non l'estimation du temps d'utilisation d'une ressource. Ce qui donne plus de robustesse au modèle SIMULA du premier modèle de files d'attente. D'ailleurs c'était parmi les motifs de choix de cette interprétation.

Flux→ Transaction

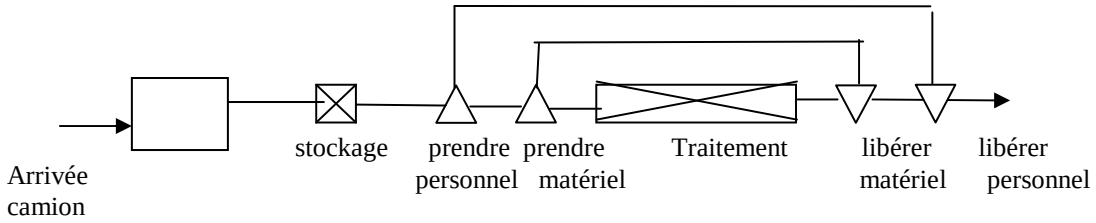
Les éléments de flux dans le modèle file d'attente ont une représentation dynamique dans le modèle c.-à-d. ils sont utilisés au fur et à mesure et représentés par des transactions. Les transactions dans le modèle SIMULA peuvent avoir une représentation similaire à des évènements.

Délais→ Durée de traitement

Le délai dans la file d'attente est considéré comme implicite dans la représentation schématique ci-dessous. Cette représentation doit être explicite dans le modèle SIMULA. Il est important de montrer la difficulté de cette interprétation qui est plutôt considéré comme une explicitation de certain élément dans le modèle de file d'attente. Pour cela, à notre avis l'interprétation nécessite une phase intermédiaire permettant au concepteur de comprendre tous les éléments et leurs effets. Un exemple qui permet de montrer ce fait on le retrouve dans la considération du délais de prendre le matériel jusqu'à sa libération qui peut être considéré comme un durée de traitement explicité dans le modèle SIMULA Hold (temps).

Pour la traduction du modèle 'File d'attente' vers les autres modèles de simulations QNAP2, SIMULA et Witness on suivie la même stratégie. Sachant que le premier modèle Qnap2 suit une approche différente de celle de SIMULA et Witness. Par contre, on a suivie la même démarche pour l'interprétation du modèle 'file d'attente vers le modèle QNAP2 et Witness.

4.3.2 Passage modèle de files d'attente vers QNAP2



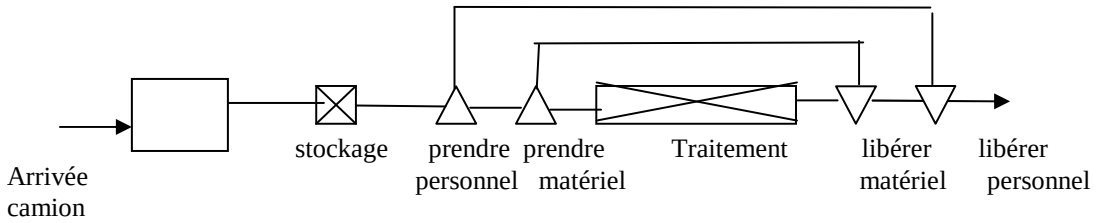
Modèle de files d'attente

Arrivée camion : Source
Chariot + personnel : Ressources
Attente : Service
Lieu de stockage : Files station
Routage : Transit
Elément flux : Mission, client

Modèle QNAP2

Figure 3.4.2 : Passage modèle de files d'attente vers QNAP2

4.3.3. Passage modèle de files d'attente vers Witness



Modèle de files d'attente

Arrivée camion : Début de simulation
Chariot + personnel : Ressources
Attente : Temps de traitement
Lieu de stockage : Machines et stocks
Elément flux : Article

Modèle Witness

Figure 3.4.3 : Passage modèle de files d'attente vers Witness

4.4. Méthodologie de passage du modèle de connaissance vers le modèle d'action

Ce passage se base sur l'utilisation d'un fichier intermédiaire (figure 3.4.4) dans lequel on a fait des adjonctions d'élément permettant de lier les différents concepts utilisés par le modèle de connaissances et le modèle d'action. Pour des raisons de stockage et de réutilisation on s'est limité à l'utilisation des éléments jugés essentiels dans chaque modèle pour pouvoir les mettre en place dans le fichier intermédiaire. Le problème posé réside toujours dans la nature de chaque fichier donné par les différents simulateurs. Donc le passage dit automatique semble ardu, cette difficulté est dû au manque d'outil et de logiciel de passage. Le passage du modèle de connaissance réalisé par l'outil ARIS vers le modèle d'action est comme suite : à partir d'un diagramme CPE d'ARIS il s'agit de faire sortir un fichier automatiquement par ARIS. La structure de ce fichier est donnée dans cette figure. Après on a crée un fichier intermédiaire pour faire le passage vers le modèle d'action ou de simulation SIMULA, QNAP2 et Witness. Ce fichier contient des éléments nécessaires à la simulation comme le nombre d'agent, temps de traitement, …etc.

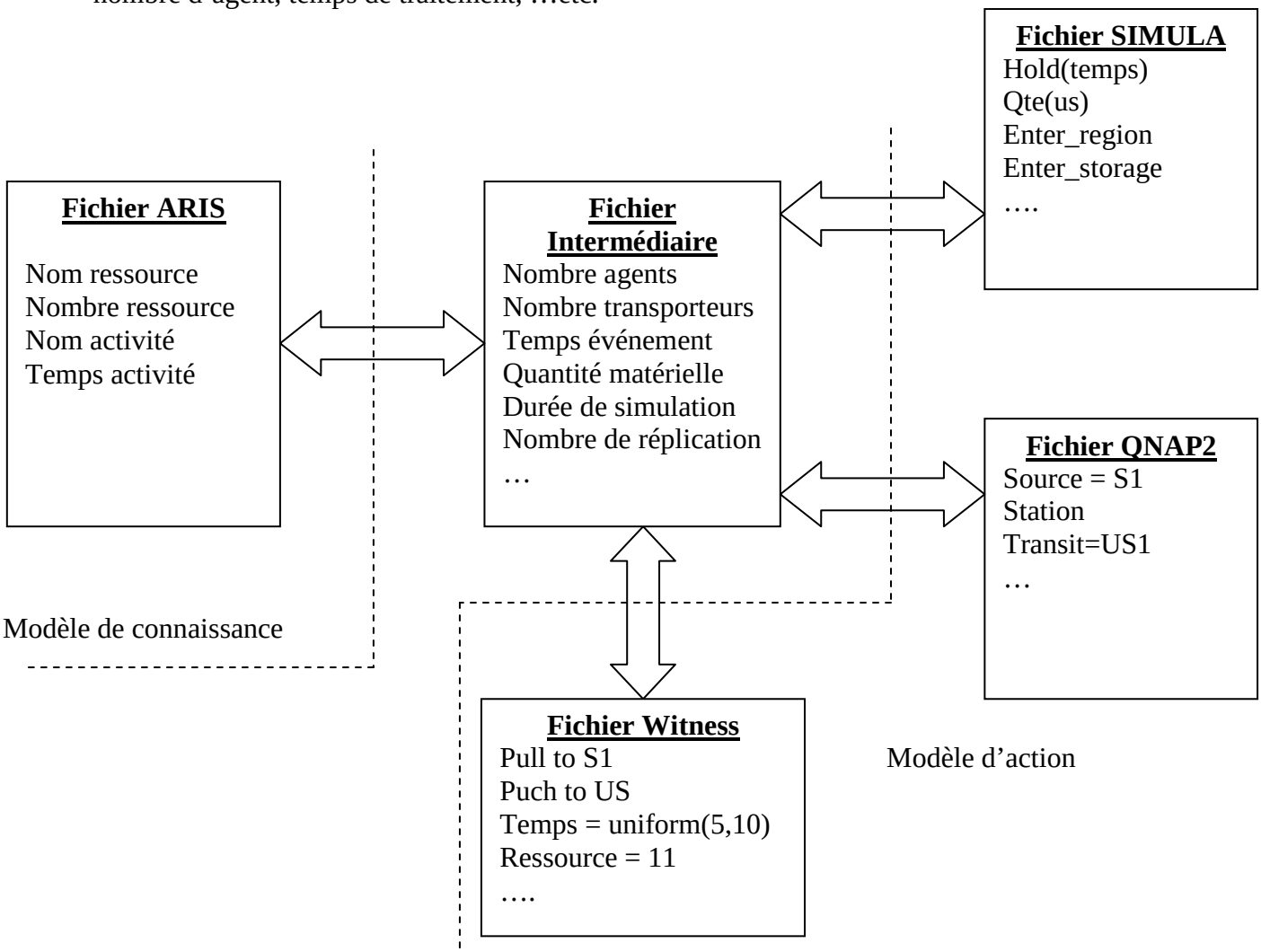


Figure 3.4.4 : Principe de passage modèle de connaissance vers le modèle d'action

4.4.1. Les étapes de passage modèle de connaissance vers le modèle d'action

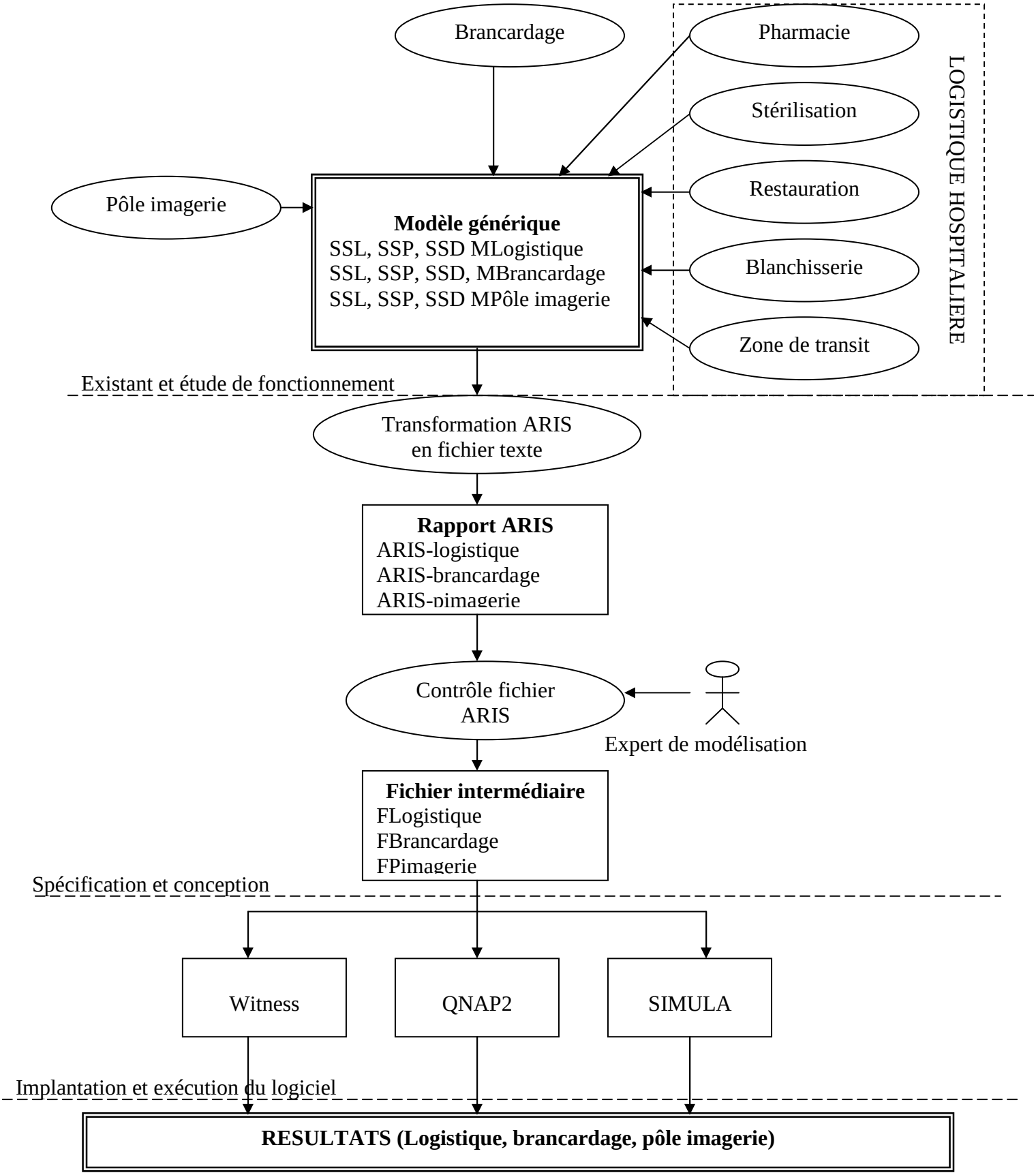


Figure 3.4.5 : Méthodologie de passage modèle de connaissance vers le modèle d'action

Le principe de fonctionnement de la méthodologie de passage du modèle de connaissance vers le modèle d'action est donné dans la figure 3.4.5. Sachant qu'on a travaillé qu'avec les deux pôles de l'hôpital (pôle imagerie et pôle logistique). Le rôle de l'expert de modélisation dans cette figure est de contrôler le fichier générer par l'outil ARIS. Ainsi ce fonctionnement se fait en quatre étapes décrites dans la figure 3.4.6.

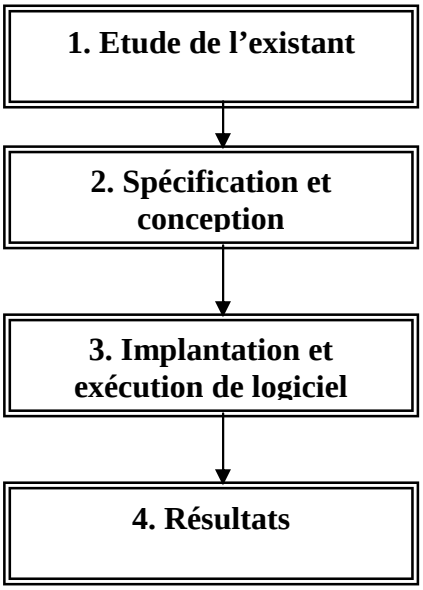


Figure 3.4.6 : Etape de passage modèle de connaissance vers le modèle d'action

1. Etude de l'existant : Dans cette première étape il s'agit d'étudier le fonctionnement des services logistiques (pharmacie, stérilisation, restauration, blanchisserie et zone de transit), service brancardage, et pôle imagerie. Cette étude est réalisée en utilisant la méthodologie ASCI, cela en décomposant le système (logistique, brancardage, pôle imagerie) en trois sous système logique SSL, physique SSP et décisionnel SSD(voir chapitre 2 section 5).

2. Spécification et conception : Dans cette partie il s'agit de faire la transformation du modèle générique (généralement en prend les CPE de SSL) en un fichier texte (rapport ARIS), puis le contrôler par un expert de modélisation, puis prendre le rapport ARIS et le complété par des éléments essentiels a l'exécution du logiciel de simulation (temps, nombre de ressources, durée de simulation, …). En résultat en aura trois types de fichier (Flogistique, Fbrancardage, Fpimagerie).

3. Implantation et exécution de logiciel : Cette partie concerne à prendre chaque fichier puis le transformé selon le programme à générer (SIMULA, QNAP2, Witness). Par exemple dans le fichier SIMULA il s'agit d'écrire un programme en GPSSS et cela avec la prise en compte des fichiers (Flogistique, Fbrancardage, Fpimagerie) qui alimentent le programme en SIMULA par les données.

4. Résultats : Après exécution du programme, chaque logiciel va générer un modèle résultat pour les trois services (logistique, brancardage et pôle imagerie).

4.4.2. Cas d'étude de la méthodologie dans l'hôpital

Dans ce qui suit nous allons appliquer la méthodologie de passage de modèle de connaissance vers le modèle d'action dans les deux pôles de l'hôpital (pôle imagerie et logistique). Pour cela on va donner pour chaque pôle le diagramme CPE correspond a son fonctionnement puis on donnera le fichier générer par ARIS, enfin on présentera le fichier intermédiaire qu'on a créé pour construire le modèle d'action.

CPE-Logistique

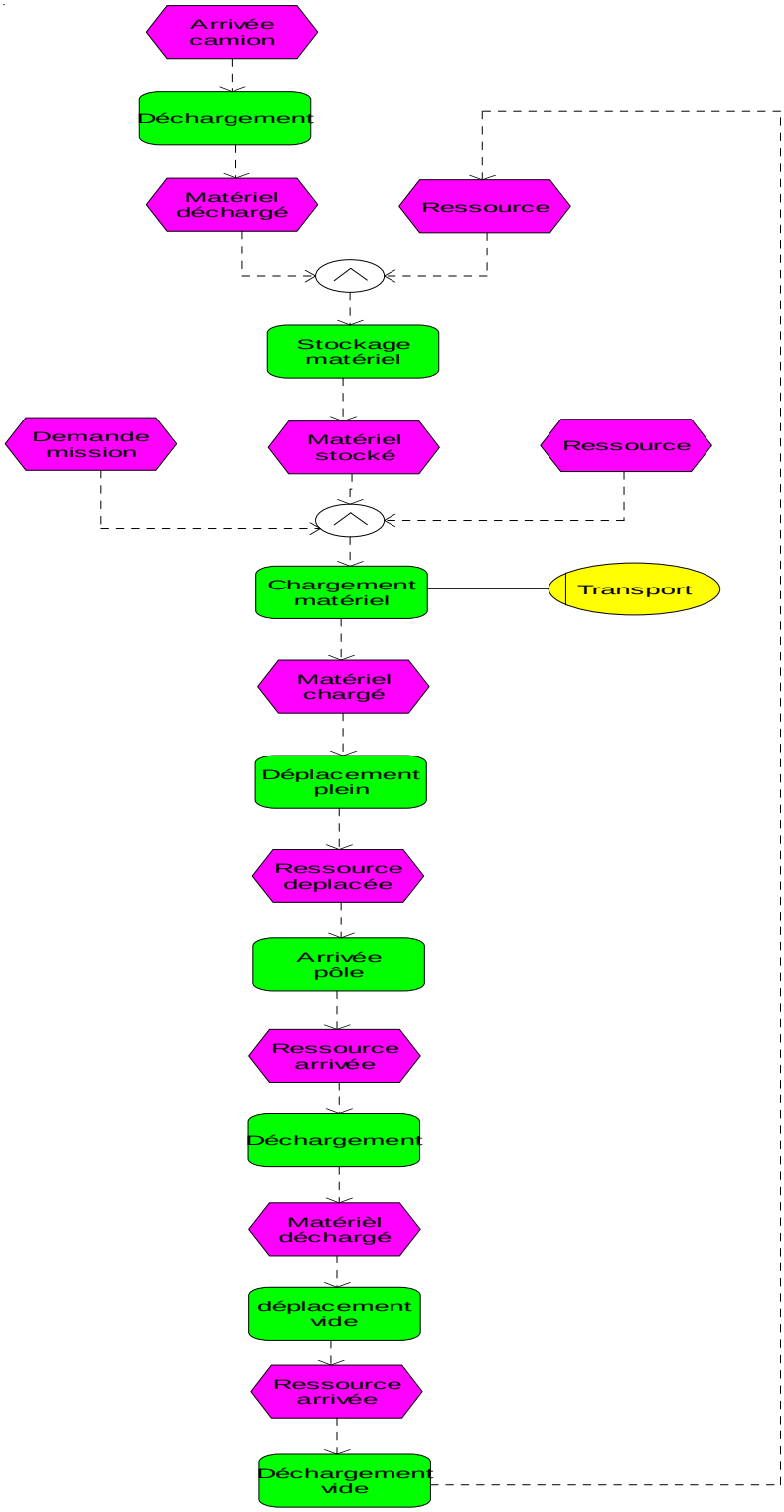


Figure 3.4.7 : CPE logistique

Ce diagramme 3.4.7 Cpe, montre l'enchainement des activités de la logistique hospitalière (pharmacie, stérilisation, restauration, …), à l'arrivée du camion dans la zone de transit jusqu'à la fourniture du matériels aux différents pôle du NHE. Donc il donne un aperçu sur le fonctionnement de la logistique.

ARIS-Logistique

Rapport ARIS

Serveur : LOCAL
Base de données : BaseNHE
Utilisateur : system

Nom d'objet :	Type d'objet :
Arrivée camion	Evénement
Demande mission	Evénement
Matériel déchargé	Evénement
Matériel stocké	Evénement
Matériel chargé	Evénement
Matériel déchargé	Evénement
Ressource	Evénement
Ressource arrivée	Evénement
Ressource déplacée	Evénement
Arrivée pôle	Fonction
Chargement matériel	Fonction
Déchargement	Fonction
Déchargement vide	Fonction
Déplacement plein	Fonction
Déplacement vide	Fonction
Stockage matériel	Fonction
Connexion ET	Règle
Connexion ET	Règle
Transport	Unité organisationnelle

Tableau 3.4.1 : Modèle ARIS logistique

Ce rapport à été généré à l'aide de l'outil ARIS en utilisant le CPE de la logistique hospitalière (pharmacie, stérilisation, restauration, …). Ce fichier contient des éléments essentiels pour faire après la simulation et cela en utilisant les étapes de passage de modèle de connaissance vers le modèle d'action ou de simulation.

CPE-Imagerie

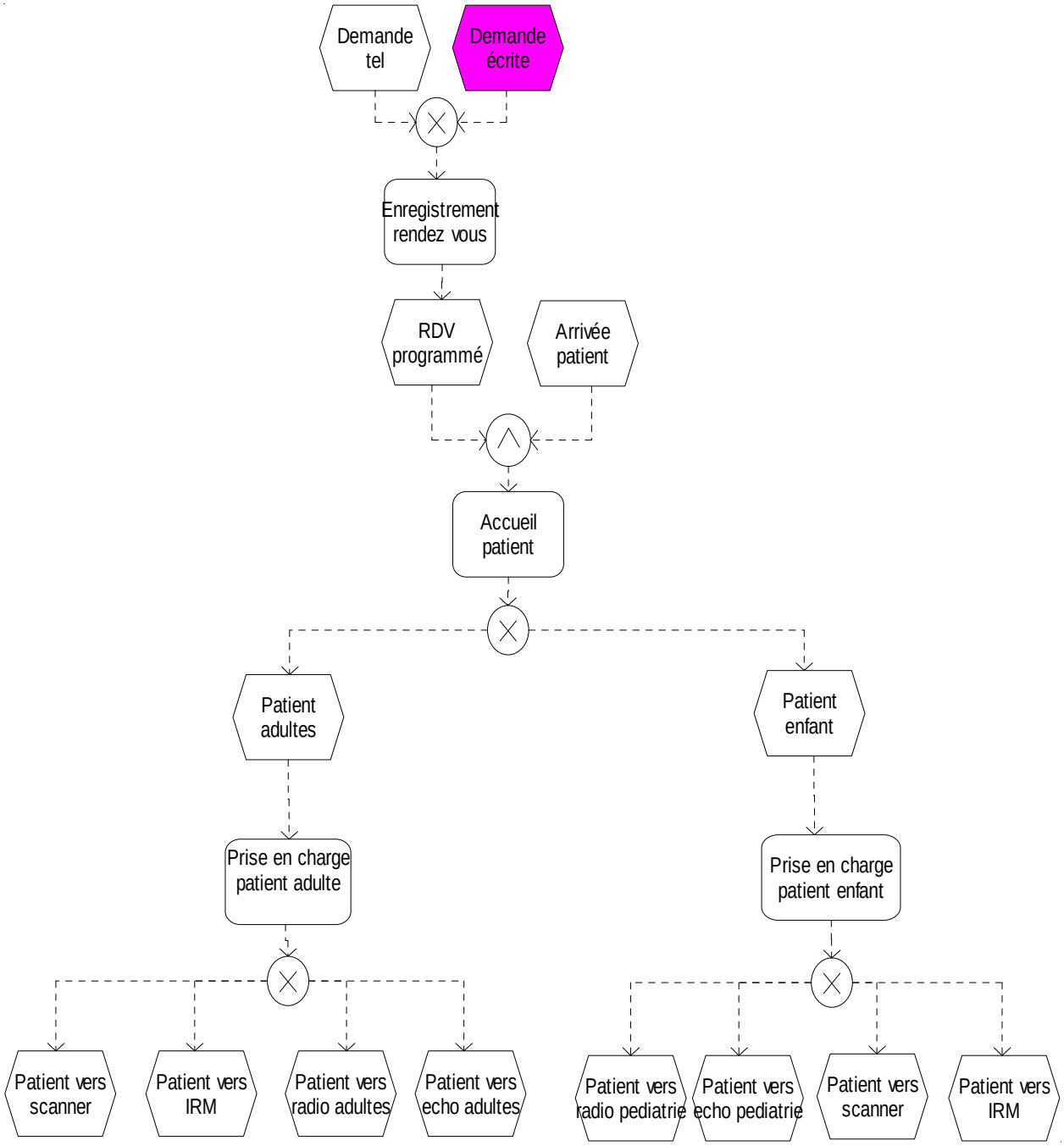


Figure 3.4.8 : CPE imagerie

Ce diagramme CPE_imagerie donne un aperçu sur le fonctionnement du pôle imagerie dans le NHE. De la demande téléphonique et l'arrivée du patient jusqu'à son traitement (radiologie, échographie, scanner, …) réaliser par des ressources humaines (aide radiologue, secrétaire, …) et matérielles (salle, …). Le routage des patients se fait au niveau de la fonction « Accueil patient ».

ARIS-Pimagerie

Rapport ARIS

Serveur : LOCAL
Base de données : BaseNHE
Utilisateur : system

Nom d'objet :	Type d'objet :
Arrivée patient	Evénement
Demande tel	Evénement
Demande écrite	Evénement
Patient adultes	Evénement
Patient enfant	Evénement
Patient vers écho adultes	Evénement
Patient vers écho pédiatrie	Evénement
Patient vers IRM	Evénement
Patient vers radio adultes	Evénement
Patient vers radio pédiatrie	Evénement
Patient vers scanner	Evénement
RDV programmé	Evénement
Accueil patient	Fonction
Enregistrement rendez vous	Fonction
Prise en charge patient adulte	Fonction
Prise en charge patient enfant	Fonction
Connexion ET	Règle
Connexion XOR	Règle
Connexion XOR	Règle
Connexion XOR	Règle
Connexion XOR	Règle

Tableau 3.4.2 : Modèle ARIS imagerie

Ce fichier contient les éléments nécessaires au passage vers le modèle de simulation (SIMULA, QNAP2, Witness) du pôle imagerie. C'est la traduction du diagramme 3.4.8 sous forme d'un fichier texte. Il est utilisé pour extraire les informations qualitatives du fonctionnement du pôle imagerie.

CPE-Brancardage (Aller)

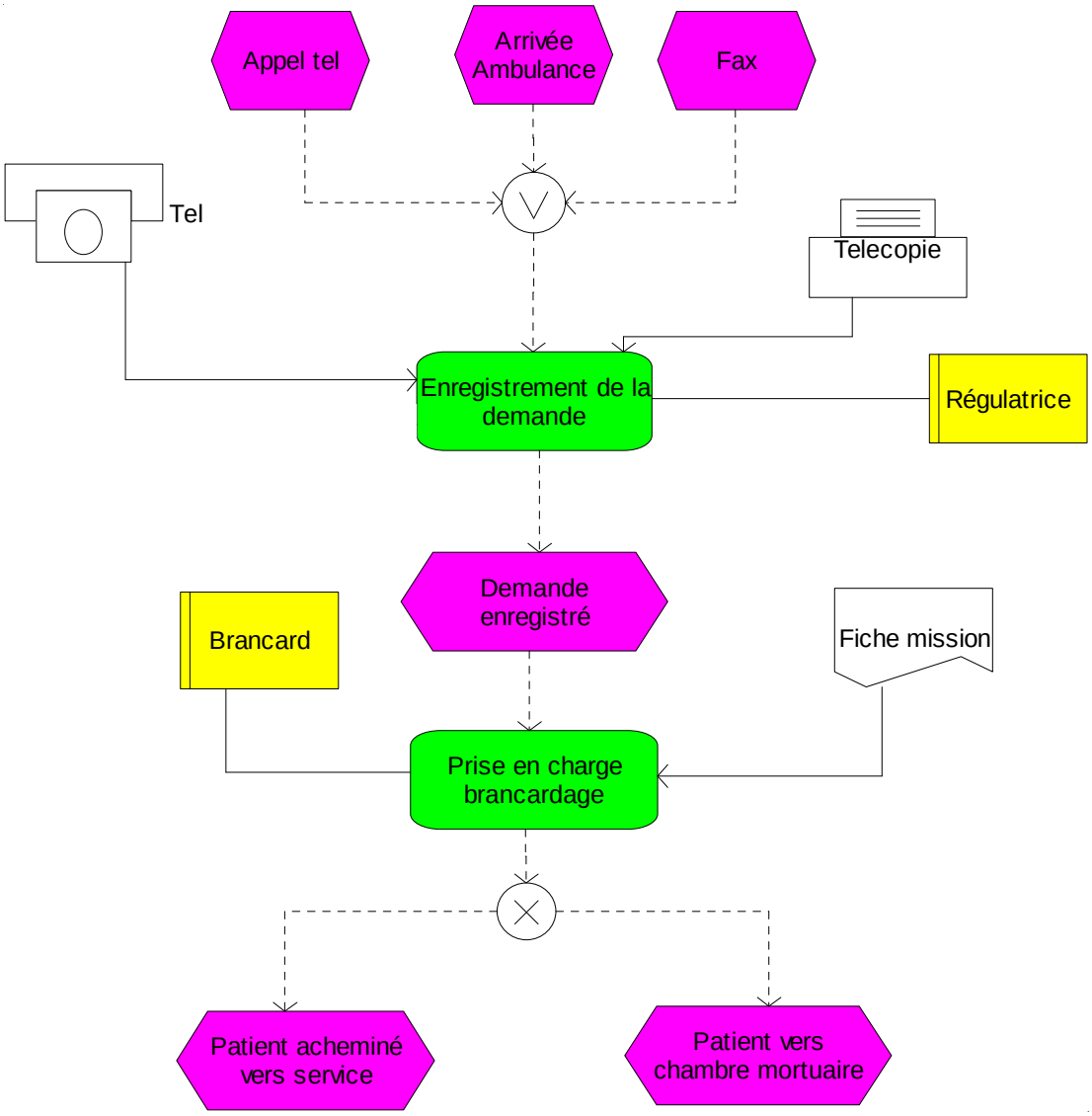


Figure 3.4.9 : CPE aller brancardage

Ce diagramme (figure 3.4.9) contient des éléments essentiels à la modélisation du service brancardage, il utilise des ressources humaines (secrétaire, brancardier,..) et matérielles (fauteuil, lit, brancard, …), des événements qui déclenchent une ou plusieurs fonctions. Donc le fonctionnement de ce CPE est comme suit : à partir d'une demande téléphonique, un fax ou l'arrivée d'ambulance une régulatrice du service brancardage effectue l'enregistrement de la demande après elle appel un ou plusieurs brancardiers qui sont disponible pour leurs attribué une mission (aller). Cette mission est effectué par un moyen de transport (fauteuil, brancard,…) puis le brancardier achemine le patient soit vers le service destinataire ou bien a la chambre mortuaire s'il s'agit d'un décès.

CPE- Brancardage (Retour)

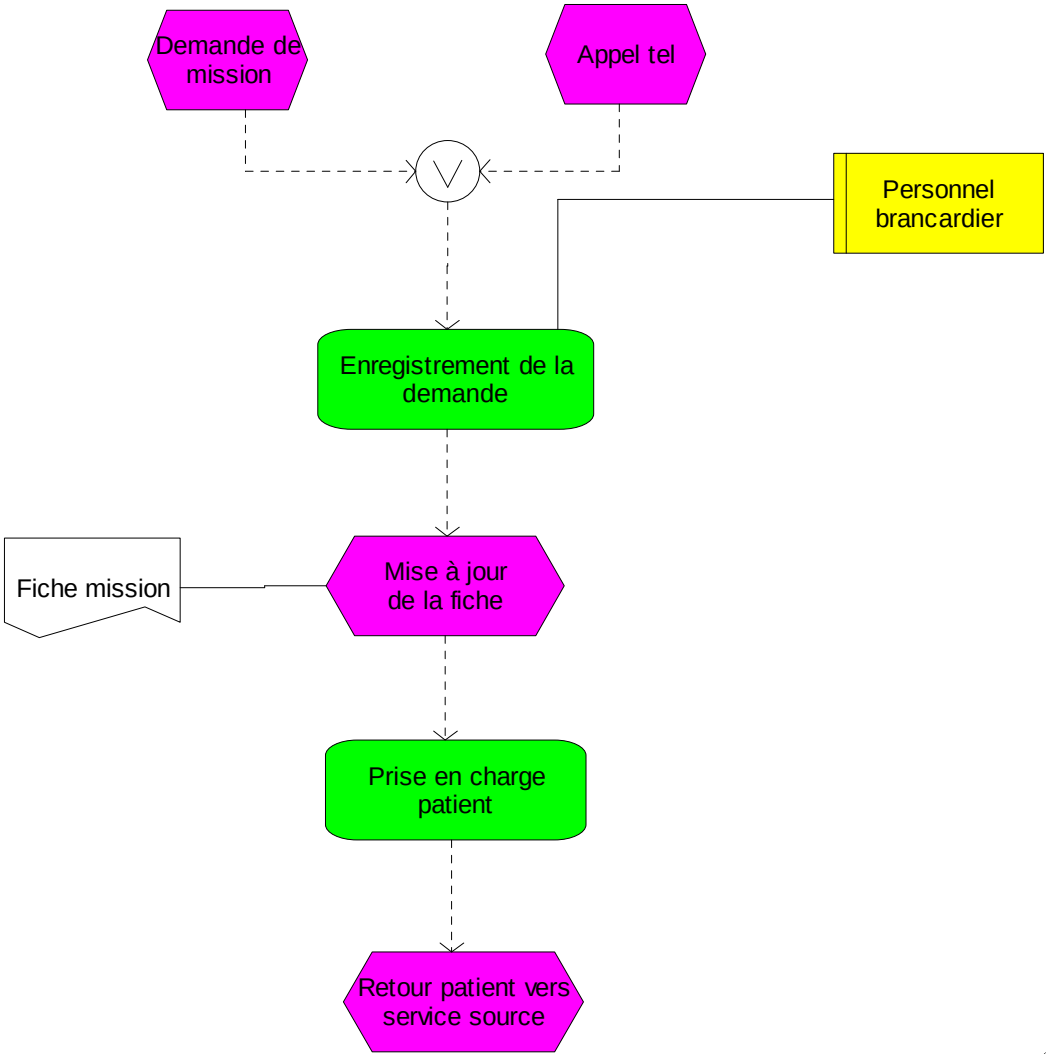


Figure 3.4.10 : CPE retour brancardage

Ce diagramme (figure 3.4.10) complète le processus de brancardage car il contient deux types de processus, aller et retour. Il contient aussi des éléments nécessaires à la modélisation avec l'outil ARIS ressources humaines et matérielles. Le principe de fonctionnement de ce diagramme est comme celui de la figure 3.4.9 sauf qu'il s'agit d'une mission de retour.

ARIS-brancardage (Aller)

Rapport ARIS
Serveur : LOCAL
Base de données : BaseNHE
Utilisateur : system

Nom d'objet :	Type d'objet :
Appel tel	Evénement
Arrivée Ambulance	Evénement
Demande enregistrée	Evénement
Fax	Evénement
Patient acheminé vers service	Evénement
Patient vers chambre mortuaire	Evénement
Enregistrement de la demande	Fonction
Prise en charge brancardage	Fonction
Brancard	Poste de travail
Régulatrice	Poste de travail
Connexion OU	Règle
Connexion XOR	Règle
Fiche	Support d'information
Fiche miss	Support d'information
Tel	Support d'information
Telecopie	Support d'information

Tableau 3.4.3 : Modèle ARIS processus aller brancardage

Le tableau 3.4.3 présente la traduction du diagramme 3.4.10 sous forme d'un fichier texte. Il est utilisé par la suite pour faire le modèle d'action ou de simulation.

ARIS-brancardage (Retour)

Rapport ARIS

Serveur : LOCAL
Base de données : BaseNHE
Utilisateur : system

Nom d'objet :	Type d'objet :
Appel tel	Evénement
Demande de mission	Evénement
Mise à jour de la fiche	Evénement
Retour patient vers service source	Evénement
Enregistrement de la demande	Fonction
Prise en charge patient	Fonction
Personnel brancardier	Poste de travail
Connexion OU	Règle
Fiche mission	Support d'information

Tableau 3.4.4 : Modèle ARIS processus retour brancardage

Ces deux fichiers (aller et retour) sont utilisés pour faire la simulation avec les outils (SIMULA, QNAP2, Witness), il complète l'un que l'autre.

Ces trois fichiers cités au dessous sont utilisés à partir des fichiers générer par l'outil ARIS. Donc Flogistique, Fimagerie et Fbrancardage sont des fichiers intermédiaires ils permettent de compléter le modèle de connaissance réaliser par ARIS par des données quantitatives (temps traitement, nombre de personne, …). En conséquence à l'aide de ces trois fichiers intermédiaires on peut passer vers le modèle de simulation et générer un programme adéquat (SIMULA, QNAP2, Witness).

```
% fichier Fbrancardage

temps_atbrancardier=U(1,5)  % attente
temps_atsalle=U(1,5)
temps_atpatient=u(1,5)
temps_atL=U(1,3)
temps_atF=U(1,3)
temps_atdeposepatient=U(1,5)

temps_TLLBCH=U(1,5)  % trajet avec lit vers CHGE
temps_TLCHCHGE=U(1,5)
temps_TLCHGELB=U(1,5)

temps_TLLBCH=U(1,5)  % trajet avec lit vers radiologie
temps_TLCHR=U(1,5)
temps_TLRLB=U(1,5)

temps_TFLBCH=U(1,5)  % trajet avec fauteuil vers CHGE
temps_TFCHCHGE=U(1,5)
temps_TFCHGELB=U(1,5)

temps_TFLBCH=u(1,5)  % trajet avec fauteuil vers radiologie
temps_TFCHR=u(1,5)
temps_TFRLB=u(1,5)

nombre_lit=3
nombre_fauteuil=4
nombre_brancardier=5

temps_de_simulation=480
nombre_replication=100
```

Tableau 3.4.5 : Fichier intermédiaire brancardage

```
% fichier pôle imagerie (Fpimagerie)
temps_atRA=U(1,10) %attente
temps_atRP=U(2,5)
temps_atEA=U(1,10)
temps_atEP=U(2,5)
temps_atSc=U(1,10)
temps_salle=U(2,5)
temps_secretaire=U(1,10)
temps_aideradio=U(2,5)
temps_RA=U(1,10)  %examen
temps_RP=U(2,5)
temps_atEA=U(1,10)
temps_atEP=U(2,5)
temps_CRRA=U(1,10) %compte rendu
temps_CRRP=U(2,5)
temps_CREA=U(1,10)
temps_CREP=U(2,5)
nombre_aideradio=4
nombre_salle=4
temps_de_simulation=480
nombre_replication=100
```

Tableau 3.4.6 : Fichier intermédiaire imagerie

```
% fichier Flogistique
temps_chargement=U(1,10)
temps_dechargement=U(2,5)
temps_deplacement_plein=U(3,8)
temps_chargement_vide=U(5,10)
temps_deplacement_vide=U(6,10)
temps_déchargement_vide=U(8,10)
nombre_agent=6
nombre_transport=2
Q(1)=15
Q(2)=7
Q(3)=15
Q(4)=7
Q(5)=15
Q(6)=7
Q(7)=15
Q(8)=7
Q(9)=15
Q(10)=7
Q(11)=14
Q(12)=8
Q(13)=21
temps_de_simulation=480
nombre_replication=100
```

Tableau 3.4.7 : Fichier intermédiaire logistique

Le tableau 3.4.5 décrit la structure d'un fichier intermédiaire du service brancardage, il complète le fichier générer par ARIS par insertion des données quantitatives (durée de traitement d'une mission, nombre de ressources utilisées matérielles et humaines, temps de simulation, nombre de réplication). Donc ce fichier est nécessaire pour faire la simulation comme indiquée dans la méthodologie de passage de modèle de connaissance vers le modèle d'action ou de simulation. Pour les tableaux : 3.4.6 et 3.4.7 ont la même structure de données.

4.5. Interface avec Visuel Basic

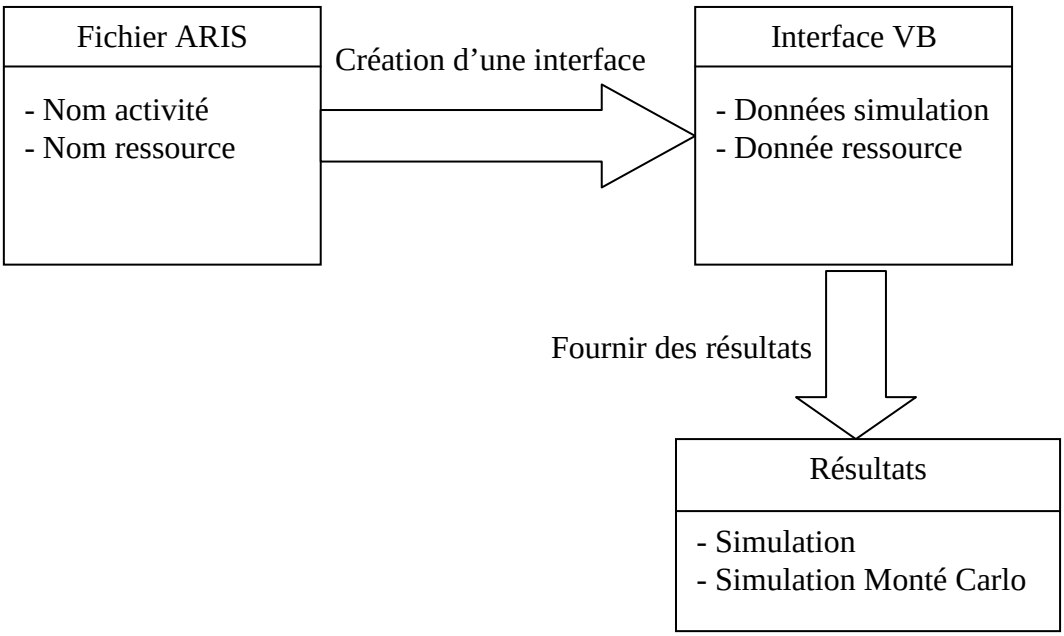


Figure 3.4.11 : Interface ARIS et Visuel Basic

Le schéma ci-dessus 3.4.11 explique l'interface ARIS avec Visuel Basic. A partir de fichier ARIS, il s'agit de construire une interface avec l'outil Visuel Basic. Ce fichier contient des éléments qualitatifs et quantitatifs nécessaires à faire la simulation. Nous avons choisi cet outil grâce a ce qu'il offre ce type de logiciel comme par exemple la facilité d'utilisation ainsi que l'interface graphique qui permettant une meilleure communication entre l'utilisateur et le système ou le logiciel construit. Avec cet outil nous avons réalisé un logiciel nommé « outils de simulation de la logistique hospitalière » qui est basé sur la simulation de Monte Carlo et qui permet à l'expert hospitalier d'entrer des données pour la simulation et les ressources. Le logiciel lui fournit des résultats d'évaluation de critères de performance : temps minimum, maximum et moyen ; temps passé par les agents, durée de transport, taux d'utilisation des agents ; durée totale de la mission, sa moyenne, l'écart type, l'intervalle de confiance. Les différentes fenêtres de ce logiciel sont présentées dans l'annexe 3 « présentation du logiciel outil de simulation de la logistique hospitalière ». Il existe des fenêtres de simulation pour le pôle imagerie ainsi que pour le pôle logistique (brancardage, blanchisserie, stérilisation, restauration).

Algorithme de Visuel Basic :

Les étapes de fonctionnement de l'outil de simulation réalisé par visuel basic est basés principalement sur des calcules de formules mathématiques. Ils sont décrits comme suite :

1. Initialisation des variables
2. Conversion de loi uniforme en une loi mathématique
3. Calcul Min, max, moyenne
4. Calcul temps mission (min, max, moyenne)
5. Calcul temps agents (min, max, moyenne)
6. Calcul temps transport (min, max, moyenne)
7. Calcul taux d'utilisation agents (min, max, moyenne)
8. Calcul taux d'utilisation transport (min, max, moyenne)
9. Calcul intervalle de confiance

4.6. Conclusion

En conclusion, nous avons donné la définition d'un modèle de files d'attente et son utilité pour la construction d'un modèle d'action, les règles de passage d'un modèle de files d'attente vers un modèle d'action ou de simulation en SIMULA, QNAP2 et WITNESS. Nous avons présenté aussi une méthodologie de passage de modèle de connaissance vers un modèle d'action ainsi que les étapes de cette méthodologie. Nous avons montré également que pour passer d'un modèle de connaissance vers un modèle d'action il est nécessaire d'ajouter un fichier intermédiaire entre ces deux modèles. La structure de ce fichier dépend du type de modèle d'action (SIMULA, QNAP2, WITNESS). Ce fichier contient des éléments quantitatifs (temps chargement, temps déchargement, quantité linge, …) nécessaires à l'exécution du modèle d'action.

5. CONNEXION ENTRE LES MODÈLES DE L'HÔPITAL

5.1. Introduction

Dans cette section nous détaillons comment utiliser les diagrammes de paquetage pour réaliser la connexion entre les modèles de l'hôpital. Nous définissons d'abord la relation entre les modèles de connaissances réalisés avec l'outil ARIS puis entre les modèles d'action ou de simulation en Witness, SIMULA et QNAP2.

Pour connecter les modèles de l'hôpital que nous avons déjà vu (pharmacie, restauration, blanchisserie, zone de transit, stérilisation, brancardage et imagerie), nous avons utilisé les diagrammes de paquetage d'UML. Pour cela avons de présenter les diagrammes de connexion entre les modèles, on vous présentera la notion de diagrammes de paquetage.

5.2. NOTION DE PAQUETAGE

Les éléments des modèles UML, et en particulier les classes, peuvent être groupés au sein d'une même unité, sujet, ou sous-système d'objets en raison de leurs objectifs communs. On obtient alors un paquetage UML. Le découpage peut être :

- Fonctionnel : un paquetage représente un sous-système fonctionnel du système à réaliser.
- Structurel : on regroupe les classes ayant un lien logique ou une définition voisine.
- Opérationnel : on regroupe les classes liées à un cas d'utilisation.
- « Pratique » : le découpage peut être arbitraire pour faciliter la lecture.

3. REPRÉSENTATION

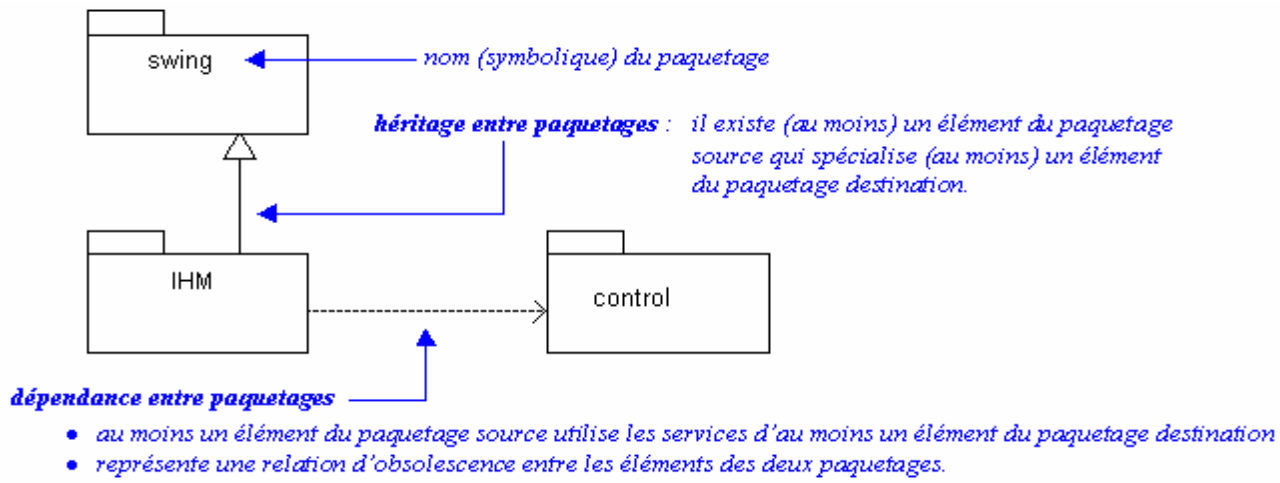


Figure 3.5.1 : Diagramme de Paquetages

Dépendances

La dépendance entre paquetages est un élément fondamental du découpage :

Une dépendance existe entre deux paquetages, si le changement de l'un peut entraîner un changement de l'autre : une classe de l'un utilise au moins les services d'une classe de l'autre, une classe envoie un message à une autre, une classe fait partie des données d'une autre classe, une classe en mentionne une autre comme paramètre d'une opération. ***En principe, seuls les changements dans l'interface d'une classe peuvent affecter d'autres classes.***

Les dépendances entre paquetages ne sont pas forcément transitives.

Spécialisation

Un paquetage peut hériter d'un autre paquetage :

- Le paquetage général peut être montré {abstrait} précisant qu'il définit uniquement une interface qui est implémentée par un paquetage spécialisé.
- La généralisation implique une dépendance (non représentée) du sous-type vers le super-type. Mettre des classes abstraites dans un paquetage super-type est un bon moyen de casser les cycles de dépendance.

Inclusion

Il est possible de concevoir des paquetages qui contiennent des sous-paquetages :

- Dans ce cas, On peut spécifier un paquetage **« *transparent* »** ou **« *opaque* »** (stéréotypes). On peut également spécifier la visibilité individuelle de chaque classe par les symboles +, # et -. La partie visible du paquetage constitue son interface.
- Lorsque l'on montre le contenu d'un paquetage, son nom est inscrit dans l'onglet et le contenu est donné dans la boîte. Le nom d'un paquetage inclus dans un autre peut être qualifié : ***paquetage englobant : : paquetage inclus.***

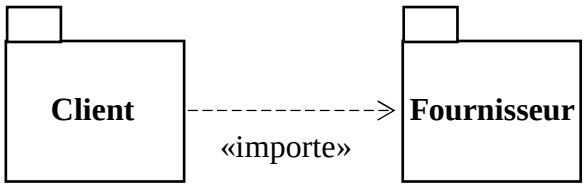


Figure 3.5.2 : Relation "importe"

- Chaque élément est inclus dans un paquetage, le paquetage de plus haut niveau est le paquetage racine. Une classe contenue dans un paquetage peut apparaître dans un autre paquetage sous forme d'un élément importé (stéréotype **« *importe* »**).

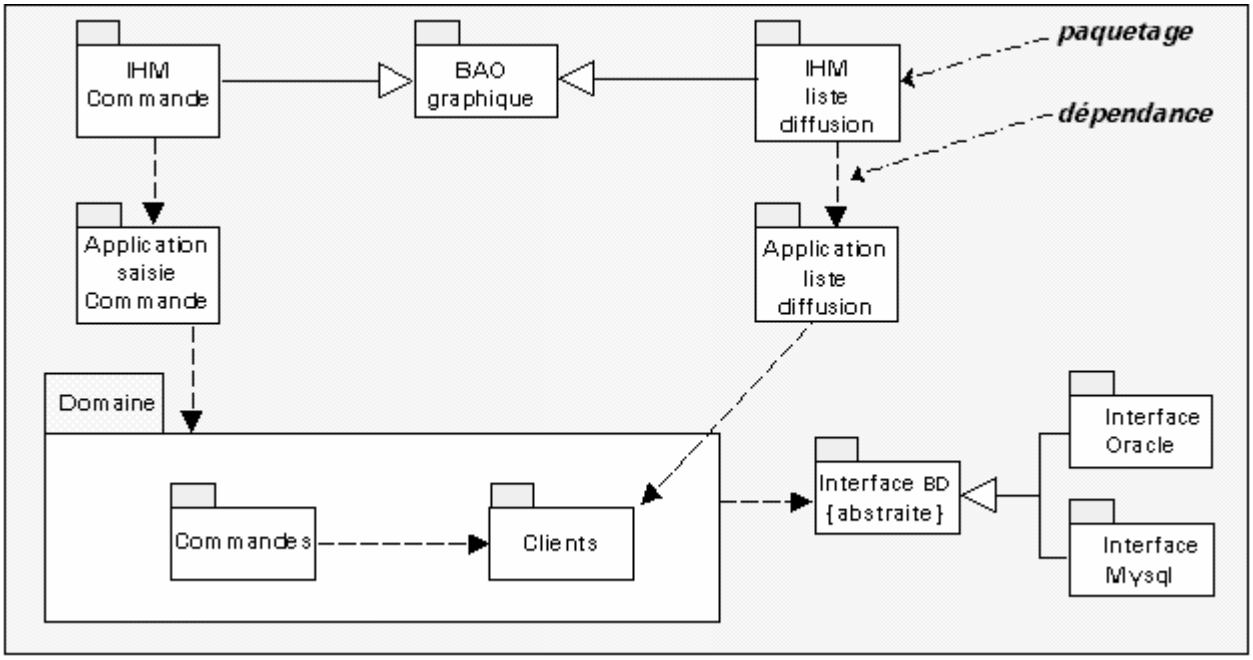


Figure 3.5.3 : Exemple de diagramme de paquetages

5.3. Application des diagrammes de paquetage pour l'hôpital

Ce schéma nous montre la connexion entre les modèles de connaissance de l'hôpital via les diagrammes de paquetage. Donc pour chaque modèle nous avons son modèle de connaissance réalisé par les trois sous systèmes (logique, physique et décisionnel) qui communiquent entre eux à l'intérieur d'un paquetage et aussi avec d'autre paquetage.

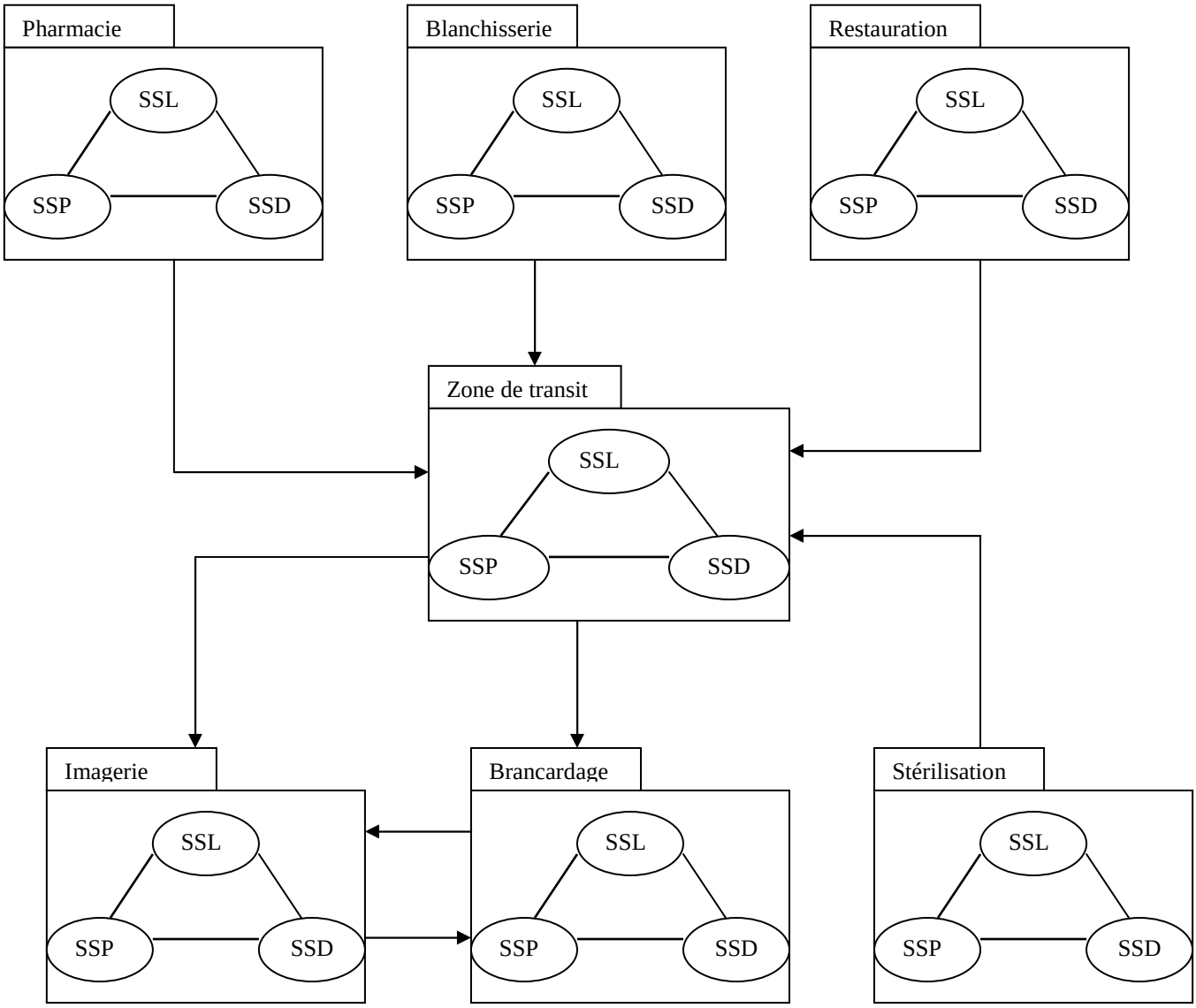


Figure 3.5.4 : Connexion entre les modèles de l'hôpital

Pour bien expliquer le fonctionnement de la connexion des modèles nous allons le détailler par la figure 3.5.5. Sachant que les trois sous systèmes (physique, logique et décisionnel) sont ceux des modèles imagerie, zone de transit et brancardage présentés dans le chapitre suivant ainsi que leurs communications internes.

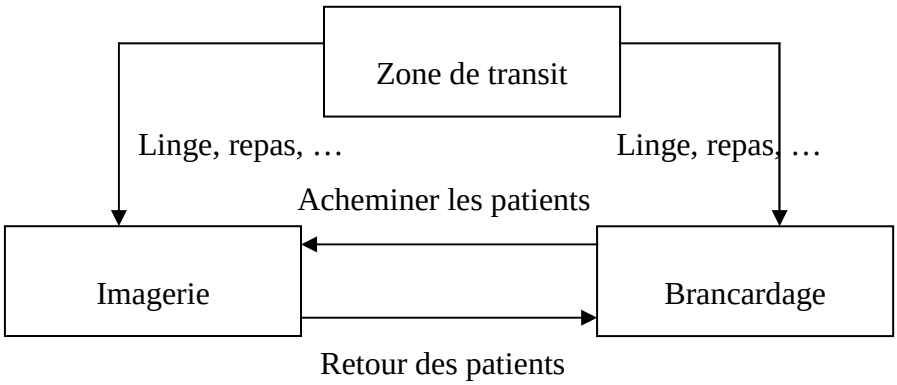


Figure 3.5.5 : Fonctionnement de la connexion entre les modèles avec les autres services

Les trois modèles sont interconnectés comme le montre le schéma 3.5.5 donc la zone de transit alimente les deux services de l'hôpital par du matériel (linge, repas, …) à la demande de chaque service. La connexion entre le modèle de brancardage et le modèle imagerie est bidirectionnelle. Le service imagerie demande au service brancardage de faire une mission de transport d'un patient d'un service à l'autre (aller et retour) à un moment donné. Par contre à la fin de la mission les brancardiers retournent au service brancardage est attendent une nouvelle mission soit avec le service brancardage ou bien un autre service de l'hôpital. Le chapitre suivant détaille un peu plus la connexion entre le modèle de brancardage et le modèle de l'imagerie.

CHAPITRE IV

MISE EN OEUVRE DE LA MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION DANS LE NH

1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons la mise en oeuvre de la méthodologie de modélisation ASCI dans le cadre du projet NHE, à savoir construire le modèle de connaissance qui est décomposé en trois sous systèmes (logique, physique et décisionnel) et puis des modèles d'action ou de simulation. Nous présentons d'abord un modèle de réseau de files d'attente et ensuite : le modèle en SIMULA, le modèle avec Witness et le modèle pour QNAP2 du pôle logistique (blanchisserie, brancardage, restauration, pharmacie et zone de transit) et du pôle imagerie. Enfin nous donnons les différents modèles de résultats induits par les modèles d'action.

2. Modèle de connaissance

Le modèle de connaissance est une représentation graphique du système hospitalier. Pour cela, nous présentons un ensemble de modèles concernant l'hôpital Hôtel Dieu et l'architecture du nouvel hôpital d'Estaing (NHE). Nous utilisons la méthodologie ASCI qui préconise de décomposer le système en trois sous systèmes : logique, physique et décisionnel.

2.1. Pôle imagerie

2.1.1. Introduction

La modélisation et le recueil de données portent initialement sur l'hôpital Hôtel Dieu de Clermont-Ferrand. Cet hôpital sera remplacé par le nouvel hôpital d'Estaing (NHE) organisé en pôles. Un pôle regroupe des services autour d'une activité principale (pôle mère-enfant, pôle imagerie,…) et améliore le partage des ressources humaines et matérielles. Les modèles sont construits sur l'architecture du NHE et ont pour données caractéristiques des estimations faites à l'Hôtel Dieu et des projections effectuées pour le NHE. Le pôle imagerie du Nouvel Hôpital d'Estaing est organisé en quatre services :
- La radiologie,
- L'imagerie en coupe,
- L'imagerie interventionnelle,
- La radiothérapie.

Dans ces services circulent des flux matériels et humains, ainsi que des patients qui subissent des examens que l'on peut quantifier, comme le montre la figure 4.1.1. A partir de ces proportions, nous remarquons que le pôle imagerie est divisé en deux grands secteurs : un secteur pour les adultes (radiologie et échographie des adultes) et un autre pour les enfants (radio et échographie en pédiatrie). Les équipements lourds, tels que le scanner et l'IRM sont des équipements communs aux deux secteurs.

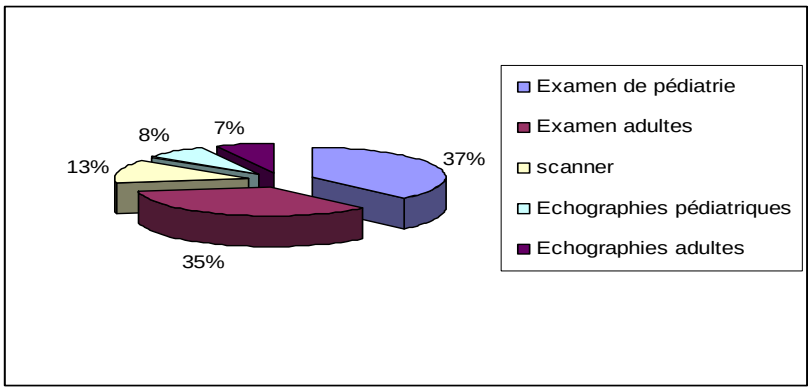


Figure 4.1.1 : Répartition des activités

Le pôle imagerie du NHE doit être organisé de telle façon que les rencontres entres les patients debout, couchés, adultes, enfants et le personnel soient limitées au strict nécessaire lors de l'accueil et de la préparation des malades. Suivant cette organisation les praticiens et le personnel doivent se retrouver dans un espace qui leur est réservé. Un module d'imagerie interventionnelle est intégré au bloc opératoire. Cette étude porte, essentiellement, sur la modélisation des services d'examens radiologiques et d'échographie des deux secteurs, ainsi que celui, en commun, du scanner. Il s'agit donc de cinq salles d'examen, dotées de leurs propres ressources en matériel et en personnel. Seul le secrétariat et les aides radiologues sont des ressources partagées.

2.1.2. Sous système logique

L'étude de l'organisation futur du pôle imagerie du NHE nous a permet de construire un modèle de connaissance selon huit niveaux repartis en trois approches (microscopique, mésoscopique et macroscopique) [Chauvet et al, 2005] et réalisé à l'aide de l'outil ARIS. Ce schéma (figure 4.1.2) décrit le fonctionnement du pôle imagerie par un diagramme de chaîne de processus événementielle (CPE), des processus et des fonctions. Les diagrammes des autres niveaux sont décrits en annexe du pôle imagerie (annexe 1). Le CPE du pôle imagerie est présenté en chapitre 3 section 4.

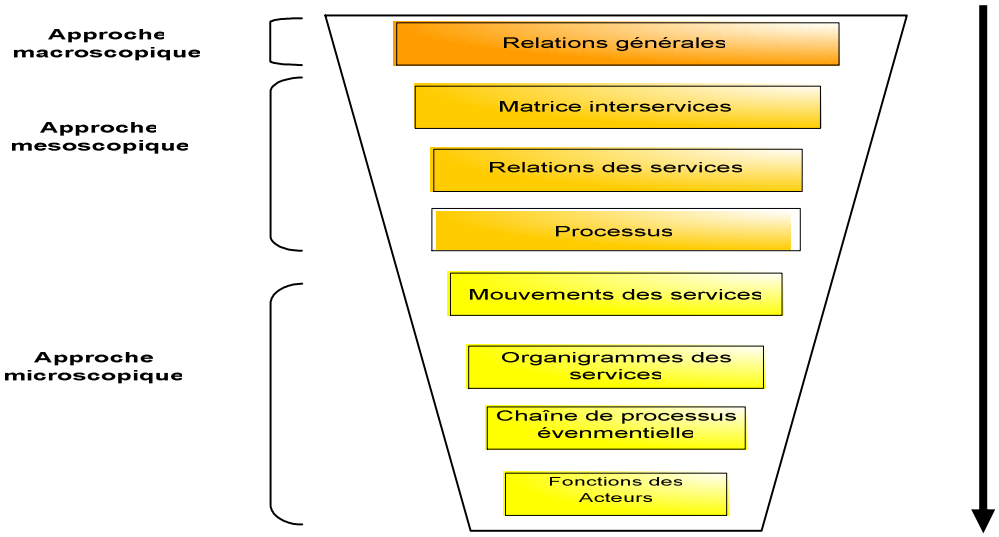


Figure 4.1.2 : Modélisation ARIS

Le CPE nous permet de donner une vue plus détailler du fonctionnement d'un système donnée il utilise des événements et des fonctions reliés par des connecteurs (chapitre 2, section 3). Les processus nous donnent une vue plus globale et moins détaillée du fonctionnement d'un système (figure 4.1.3). Par conséquent nous avons utilisé les fonctions (figure 4.1.4 et 4.1.5) afin de pouvoir décrire les différentes tâches du personnel travaillant dans ce système.

Processus

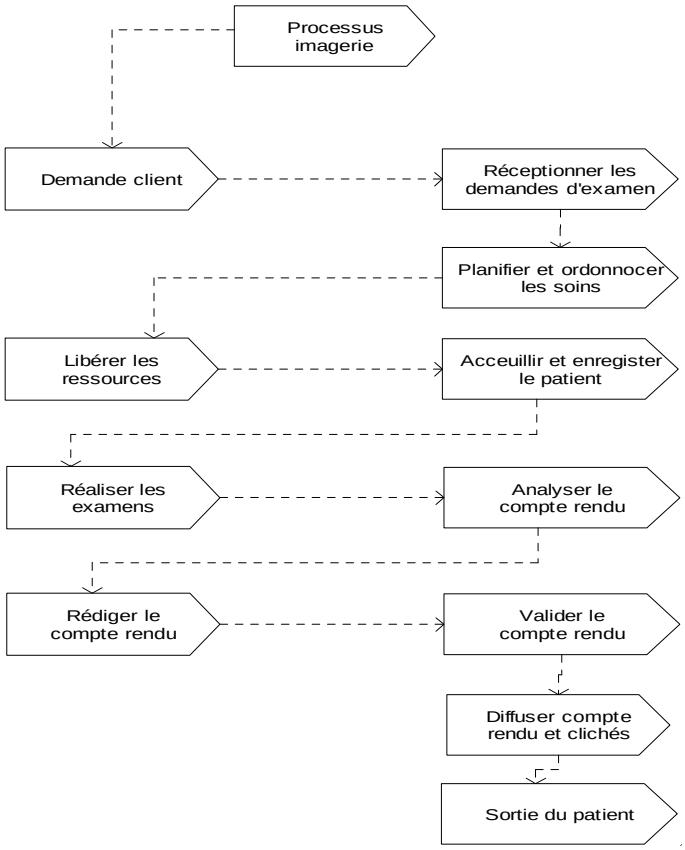


Figure 4.1.3 : Processus de l'imagerie

Fonctions

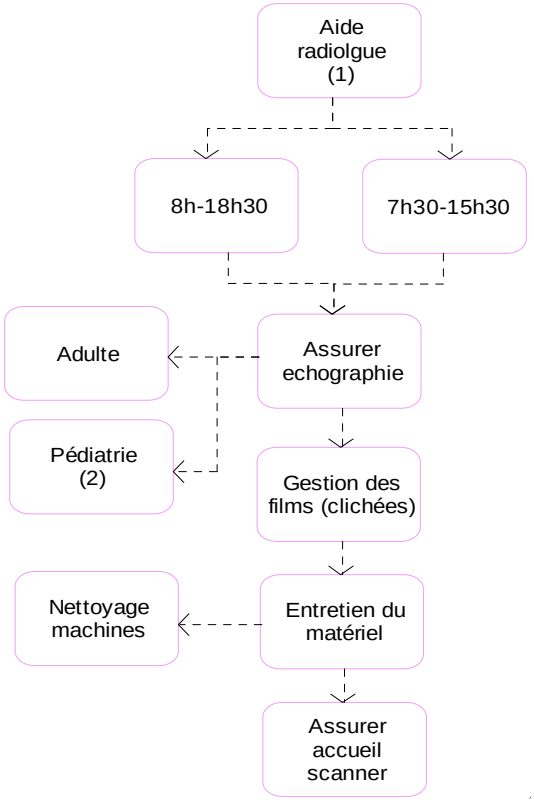


Figure 4.1.4 : Fonctions d'aide radiologue de l'imagerie

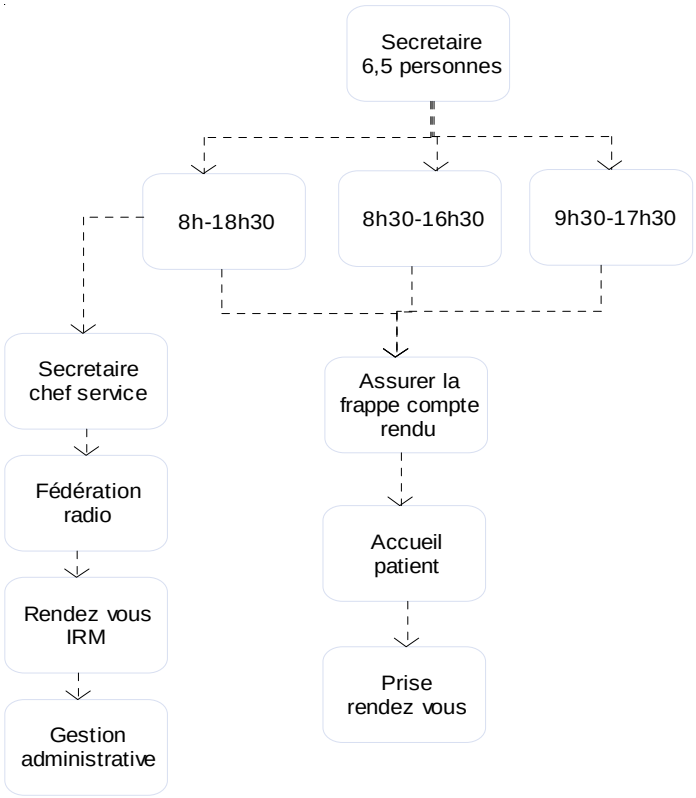


Figure 4.1.5 : Fonctions d'une secrétaire de l'imagerie

2.1.3. Sous système physique

Le sous système physique du pôle imagerie est constitué de plusieurs locaux comme indiqué dans la figure 4.1.6 ci-dessous :

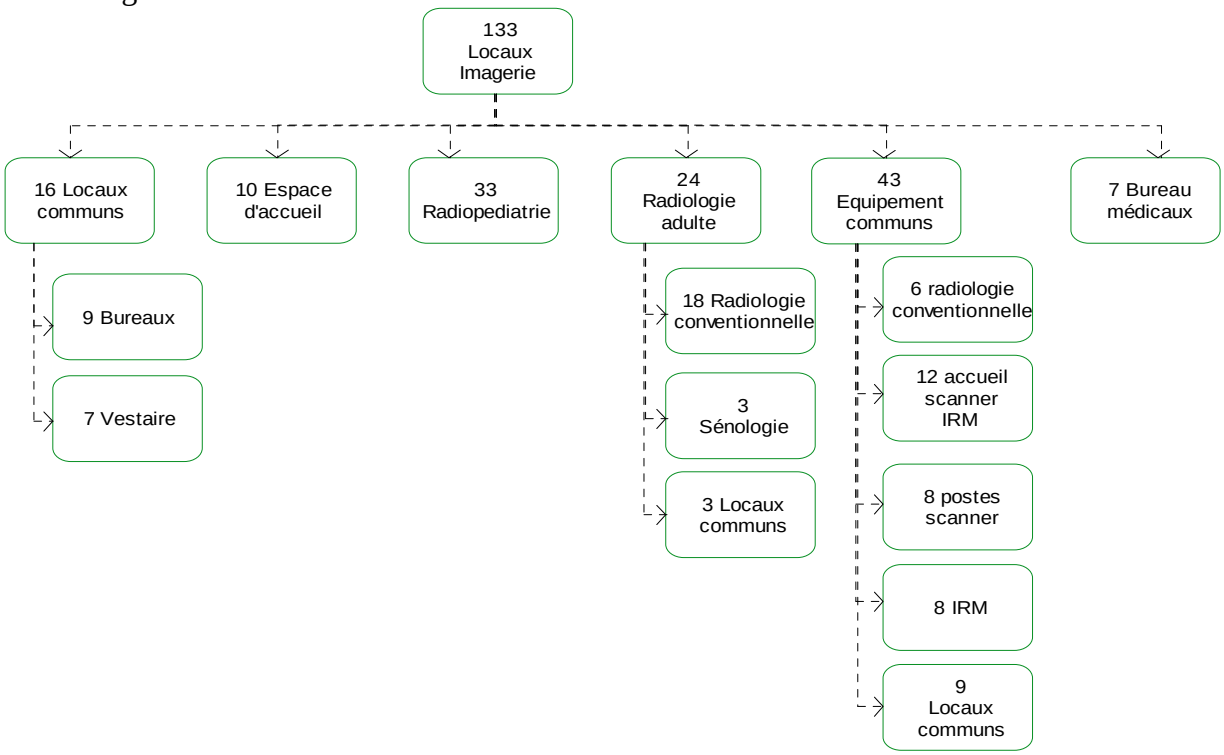


Figure 4.1.6 : Sous système physique de l'imagerie

2.1.4. Sous système décisionnel

Ce diagramme montre les règles de gestion existantes dans le pôle imagerie. Sachant qu'un examen est routé selon un pourcentage indiqué en figure 4.1.7.

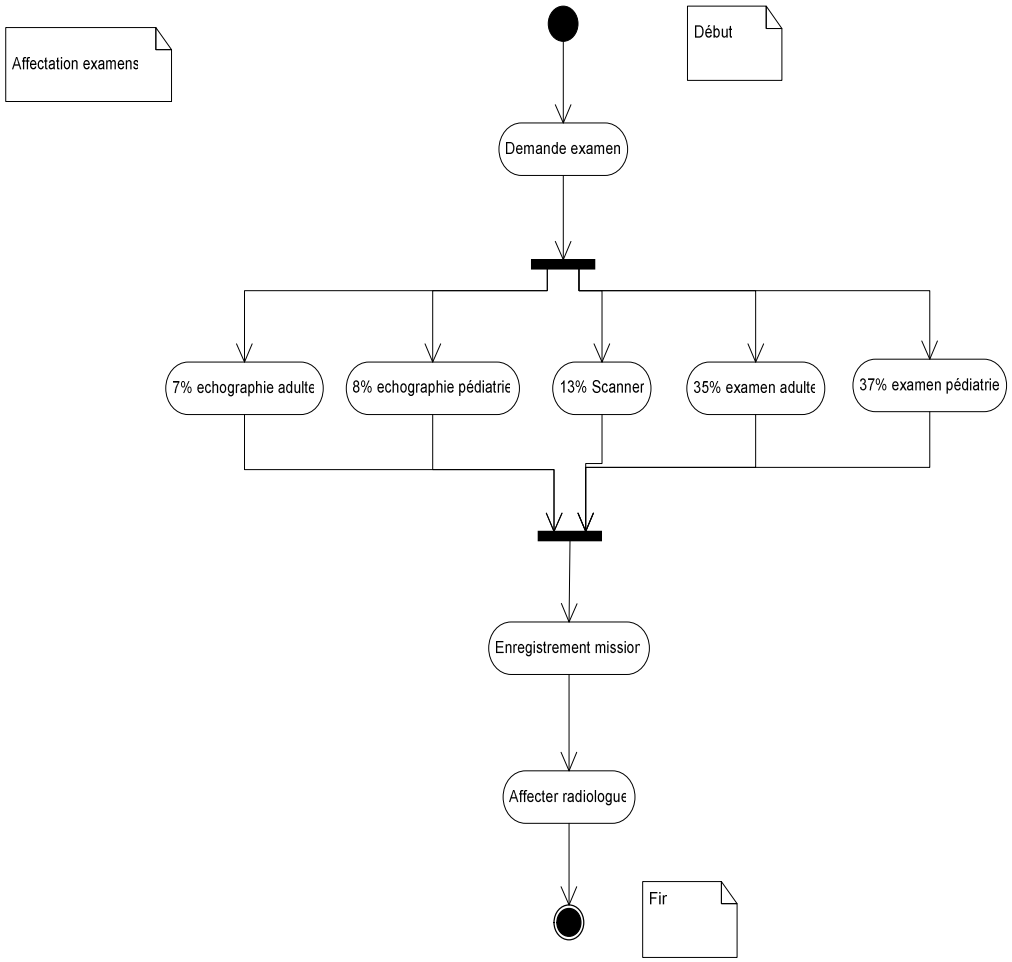
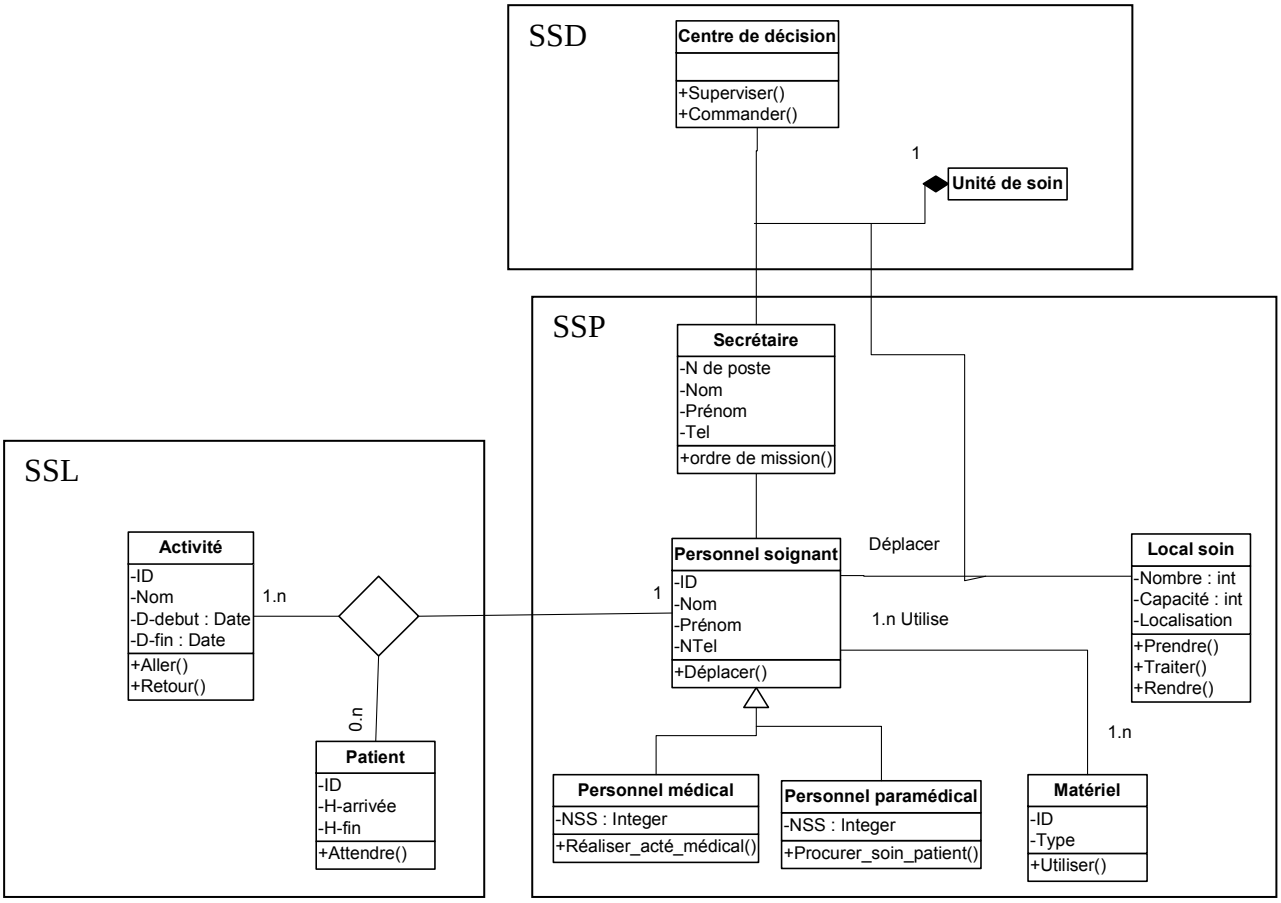


Figure 4.1.7 : Sous système décisionnel de l'imagerie

2.1.5. Communication entre les trois sous systèmes du pôle imagerie

Le diagramme ci-dessous (figure 4.1.8) explicite la relation entre les trois sous systèmes (logique, physique et décisionnel) du pôle imagerie représentés par le diagramme de classe. Expliciter les relations entre les trois sous systèmes est un travail ardu ; la difficulté est due au fait que les éléments qui peuvent être connectés sont toujours de nature abstraite. Trouver les points de connexion entre les trois sous systèmes nécessite de prendre du recule même par rapport au processus de conception. Donc il s'agit d'avancer dans la phase de conception avec l'intention de montrer tous les éléments qui peuvent être connectés pour faciliter la tâche de communication.



SSD : Sous système décisionnel
SSL : Sous système logique
SSP : Sous système physique

Figure 4.1.8 : Communications entre les trois sous systèmes du pôle imagerie

2.2 Brancardage

2.2.1. Introduction

Le service brancardage assurera l'acheminement des patients dans les différents pôles du NHE, ainsi il sera sous l'autorité du pôle transport rattaché au pôle administratif et logistique. Le service brancardage, sera doté d'un nouveau local et de matériel, il aura aussi son propre personnel qui sera d'une très bonne qualité en terme de formation.

2.2.2 Sous système physique

Le local brancardage est aménagé de la façon suivante (figure 4.1.9) :

1. Salle de régulation
2. Salle de détente
3. Vestiaire
4. WC
5. Douche

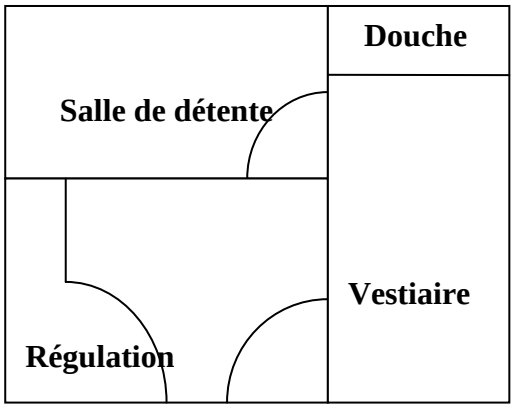


Figure 4.1.9 : Sous système physique du brancardage

2.2.3. Sous système logique

L'organigramme et les flux du service brancardage sont regroupés en annexe pôle logistique (annexe 2). Le CPE est décrit dans le chapitre 3 section 4.

Processus brancardage

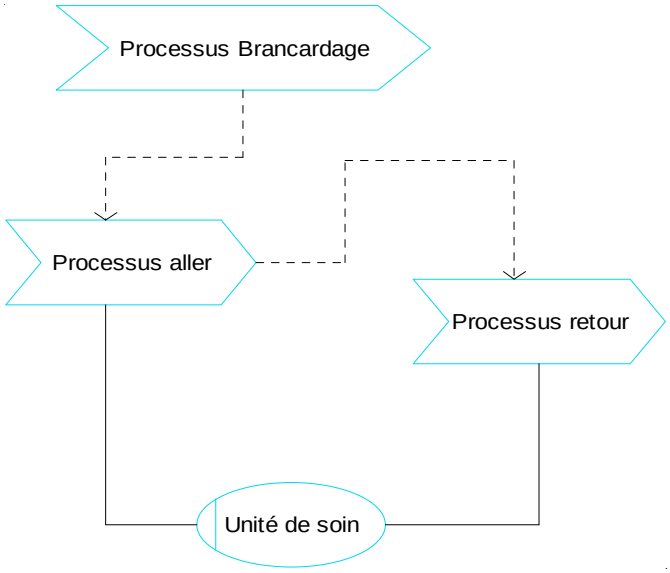


Figure 4.1.10 : Processus brancardage

Le processus brancardage (figure 4.1.10) est composé de deux sous processus (aller et retour), sachant que chacun donne un CPE qui représente le fonctionnement détaillé du service. Ainsi les deux sous processus sont reliés aux unités de soins de l'hôpital. A l'intérieur de chaque processus il existe des événements, des fonctions et des ressources matérielles (brancard, lit, …) et humaines (brancardier, régulatrice, …). La raison d'utiliser deux sous processus est que la mission principale du service brancardage est d'assurer le transport interne des patients dans l'hôpital. Pour cela les brancardiers sont obligés d'acheminer les patients d'une place à l'autre pour qu'ils reçoivent des traitements, puis en général, les patients sont ramenés vers leur point de départ que constitue leur chambre. Nous avons remarqué que les brancardiers

effectuent des trajets entre le service radiologie et les autres services ce qui nous a permis d'étudier plus particulièrement ces lors de la spécification du modèle de connaissance.

2.2.4. Sous système décisionnel

La Figure 4.1.11 montre les règles d'affectation d'un brancardier à une mission donnée présentée en un diagramme d'activité d'UML.

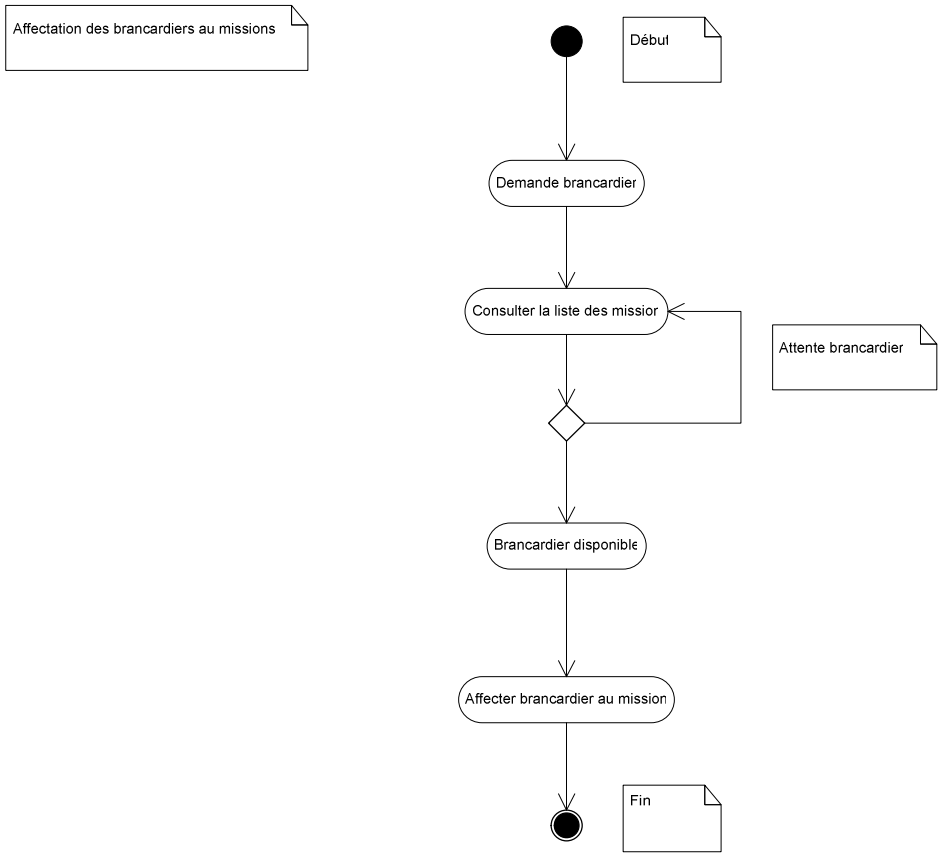
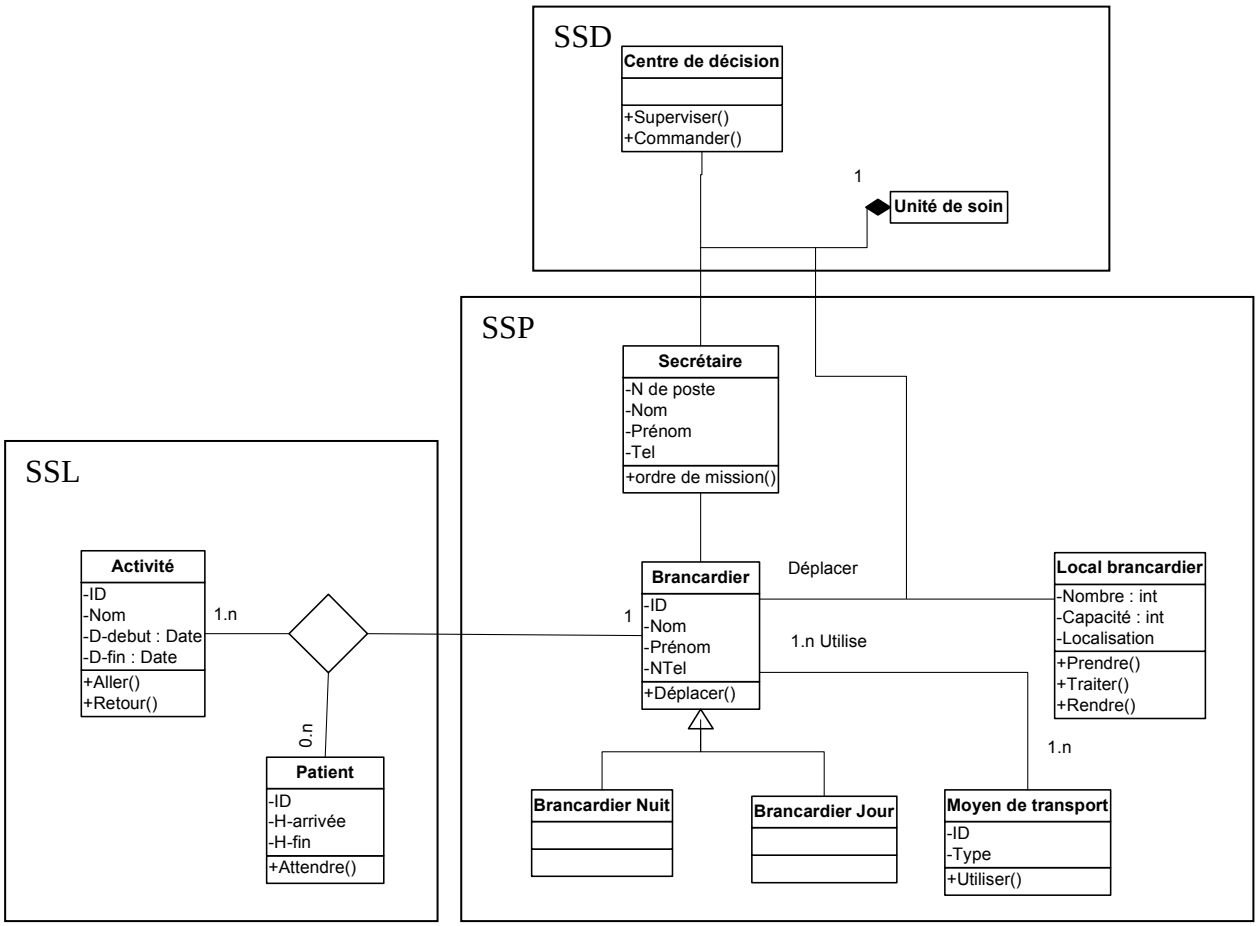


Figure 4.1.11 : Sous système décisionnel du brancardage

2.2.5. Communication entre les trois sous systèmes de brancardage

Le diagramme suivant (figure 4.1.12) montre les relations entre les trois sous systèmes du service brancardage. Il s'agit d'un diagramme de classe. Le sous système physique comporte les classes secrétaire, brancardier et local brancardier. La classe brancardier est en relation avec la classe activité et patient qui appartiennent au sous système logique. On remarque également qu'il y a une relation entre les classes brancardier et centre de décision car un brancardier doit suivre des procédures et des règles lorsqu'il effectue une mission de transport d'un patient d'un service à un autre.



SSD : Sous système décisionnel.
SSL : Sous système logique.
SSP : Sous système physique.

Figure 4.1.12 : Communication entre les trois sous systèmes de brancardage

2.3. Zone de transit

2.3.1. Introduction

La zone de transit dans le nouvel hôpital d'Estaing représente l'un des services les plus importants de l'hôpital car chaque service de l'hôpital a besoin de ses services (transport du matériel de stérilisation, des repas, de la pharmacie, …). Pour parvenir à remplir ses missions, il faut que l'équipe soignante dispose du matériel nécessaire au bon moment, au bon endroit, en bonne quantité et en bon état. Ce qui correspond à la définition de la logistique (figure 4.1.13). Dans le système hospitalier actuel, les équipes dirigeantes ont toutes un seul et même objectif : améliorer la logistique hospitalière. Pour cela, de nombreux flux circulent dont les principaux sont :

- Les flux de matières,
- Les flux humains,
- Les flux financiers,
- Les flux informationnels.

Les sites du CHU sont reliés entre eux par des flux de tous types. La logistique regroupe plusieurs activités qui sont liées les unes aux autres par des flux, tels que matières, patients, soignants, informations…

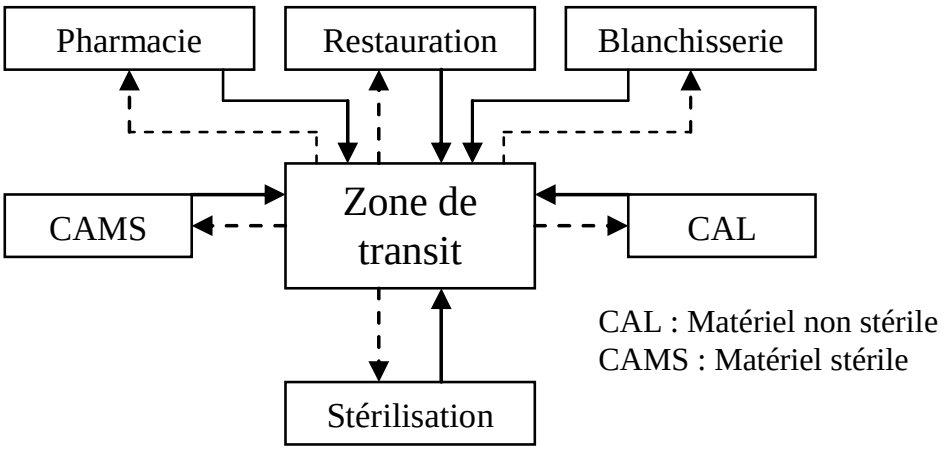


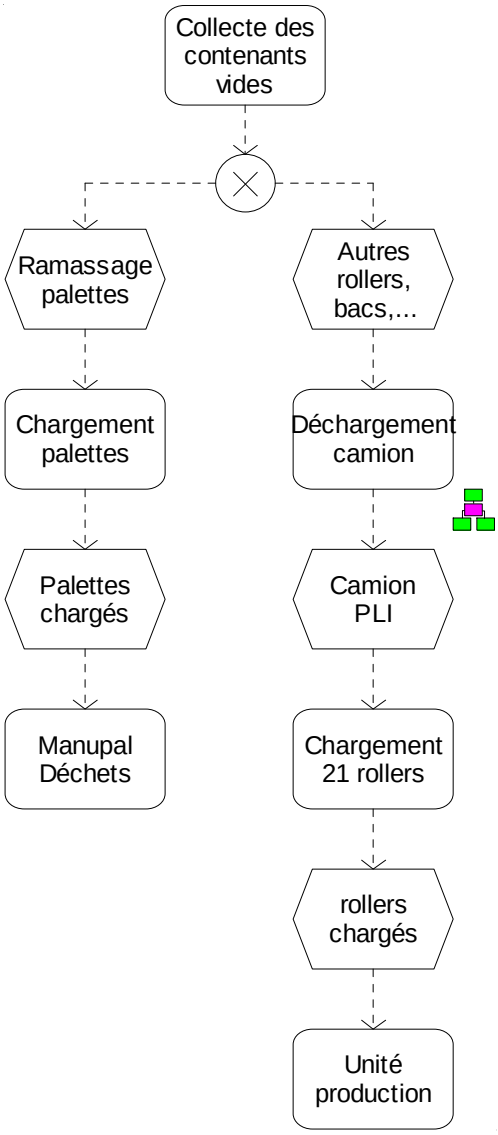
Figure 4.1.13 : Représentation simplifiée et généralisée des activités logistiques

2.3.2. Sous système logique

1. Collecte des contenants pleins
2. Collecte des contenants vide
3. Collecte déchets
4. Constat pannes
5. Contrôle véhicule
6. Tri linge sale
7. Déchargement camion
8. Délégation ressources
9. Distribution colis fournisseur
10. Distribution contenants pleins
11. Gestion de dépannage
12. Gestion des litiges
13. Gestion planning
14. Nettoyage matériel
15. Préparation boissons
16. Réception messagerie
17. Réception quantitative
18. Transport mobilier
19. Tri colis
20. Tri déchets

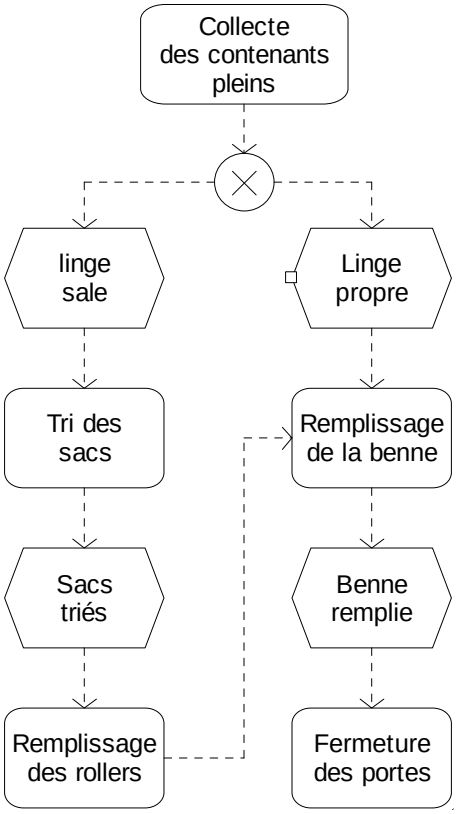
Dans ce qui suit nous présentons les diagrammes CPE d'ARIS suivants : 1, 2, 7, 10 ; les autres diagrammes sont regroupés dans l'annexe du pôle logistique (annexe 2).

CPE logistique



Chargement des camions

Figure 4.1.14 : Collecte contenants vides



Chargement des bennes

Figure 4.1.15 : Collecte contenants pleins

La figure 4.1.15 présente l'activité collecte des contenants pleins du service blanchisserie qui sépare le circuit du linge propre et du linge sale. Alors que la figure 4.1.14 montre le fonctionnement de la collecte des contenants vides pour chaque type de contenant du matériel (bac, palette, …). Le traitement complet, depuis le déchargement du camion à son arrivée au quai de la zone de transit jusqu'à la distribution aux différentes unités de soins, est donné en figure 4.1.16.

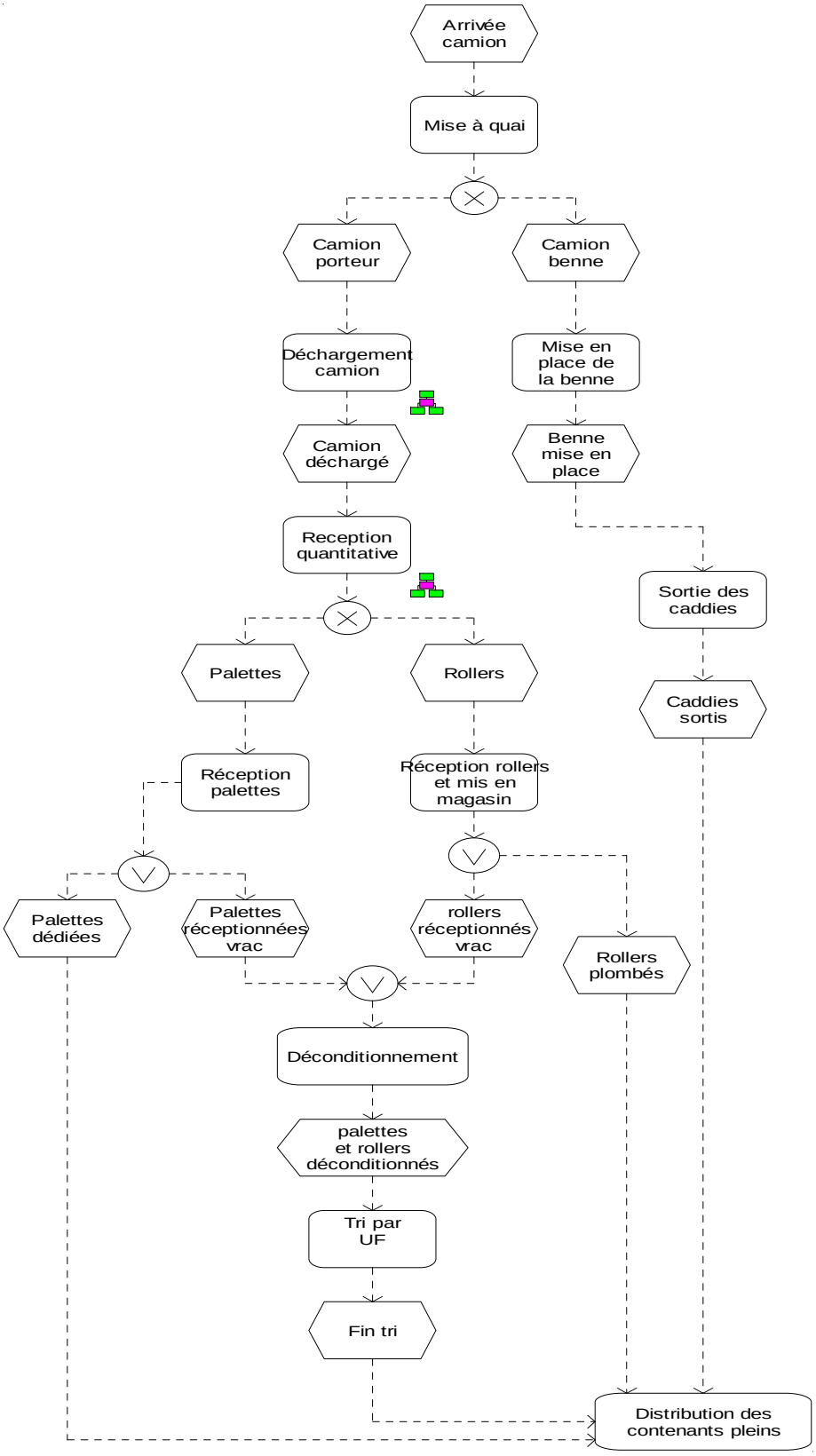


Figure 4.1.16 : Déchargement du camion

Processus

La figure 4.1.17 présente le fonctionnement global de la zone de transit modélisé à l'aide d'un diagramme de processus décomposé en 9 processus. Nous ne détaillons que les processus les plus importants pour la spécification du système (figure 4.1.18 à 4.1.21). Les autres processus sont détaillés en annexe du pôle logistique (annexe 2).

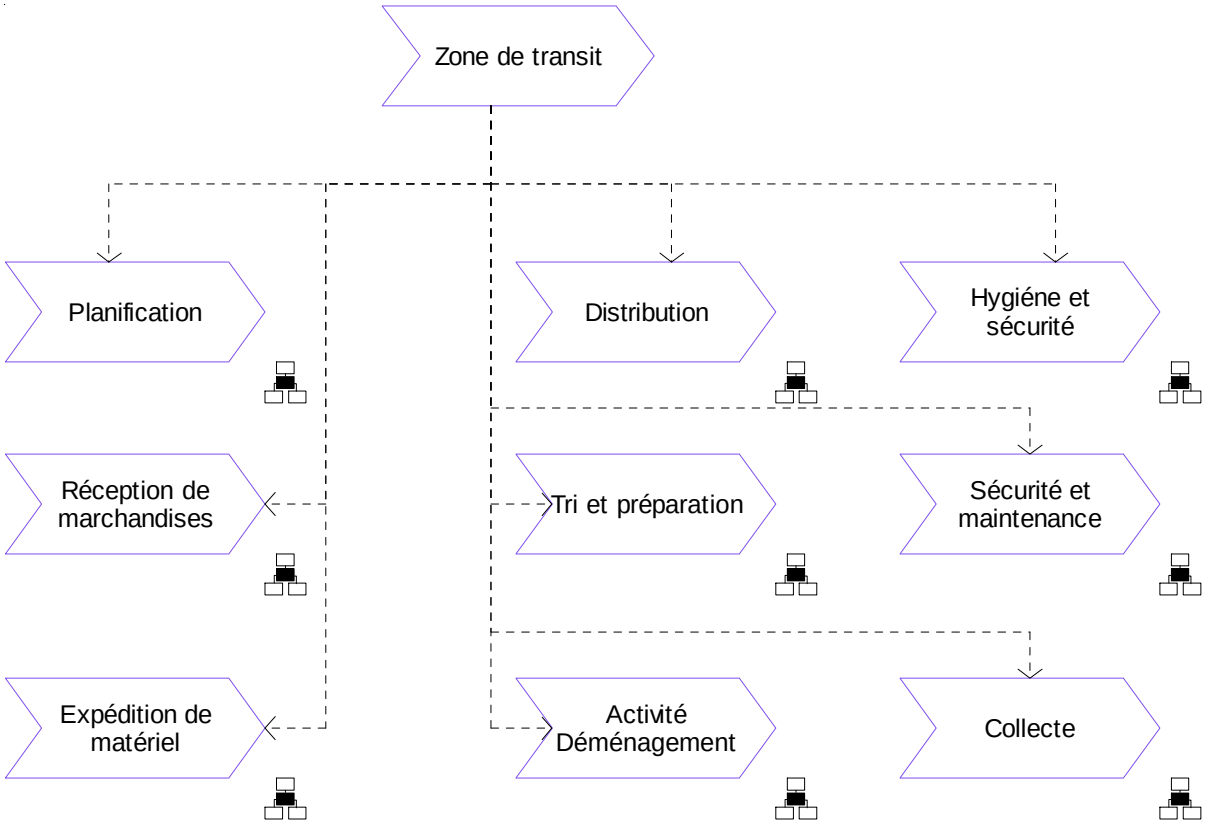


Figure 4.1.17 : Processus de la zone de transit

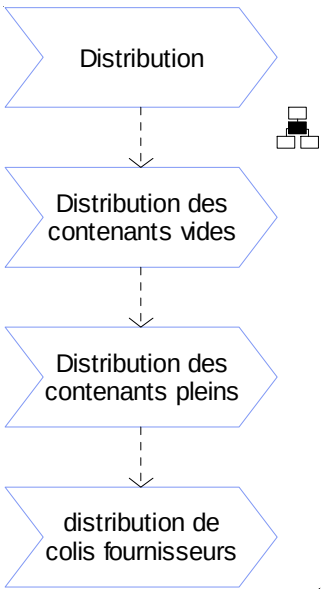


Figure 4.1.18 : Processus distribution

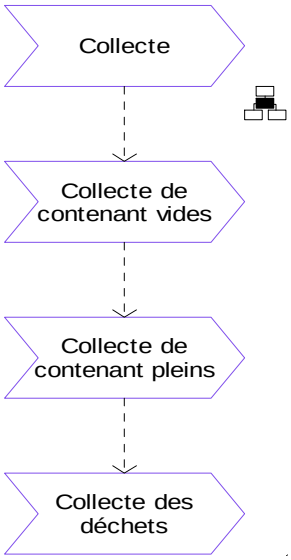
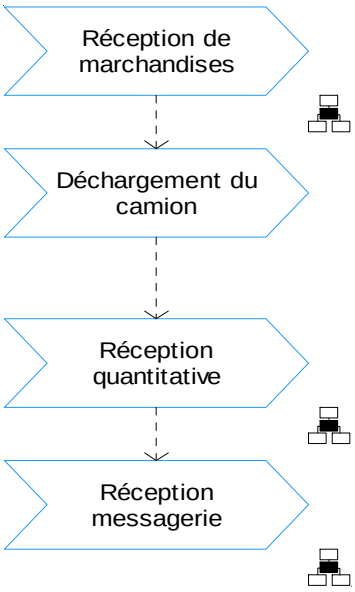


Figure 4.1.19 : Processus collecte



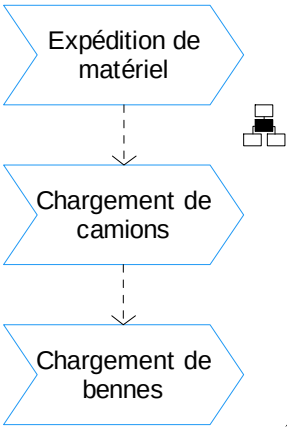


Figure 4.1.21 : Processus expédition

Figure 4.1.20 : Processus réception des marchandises

Fonctions

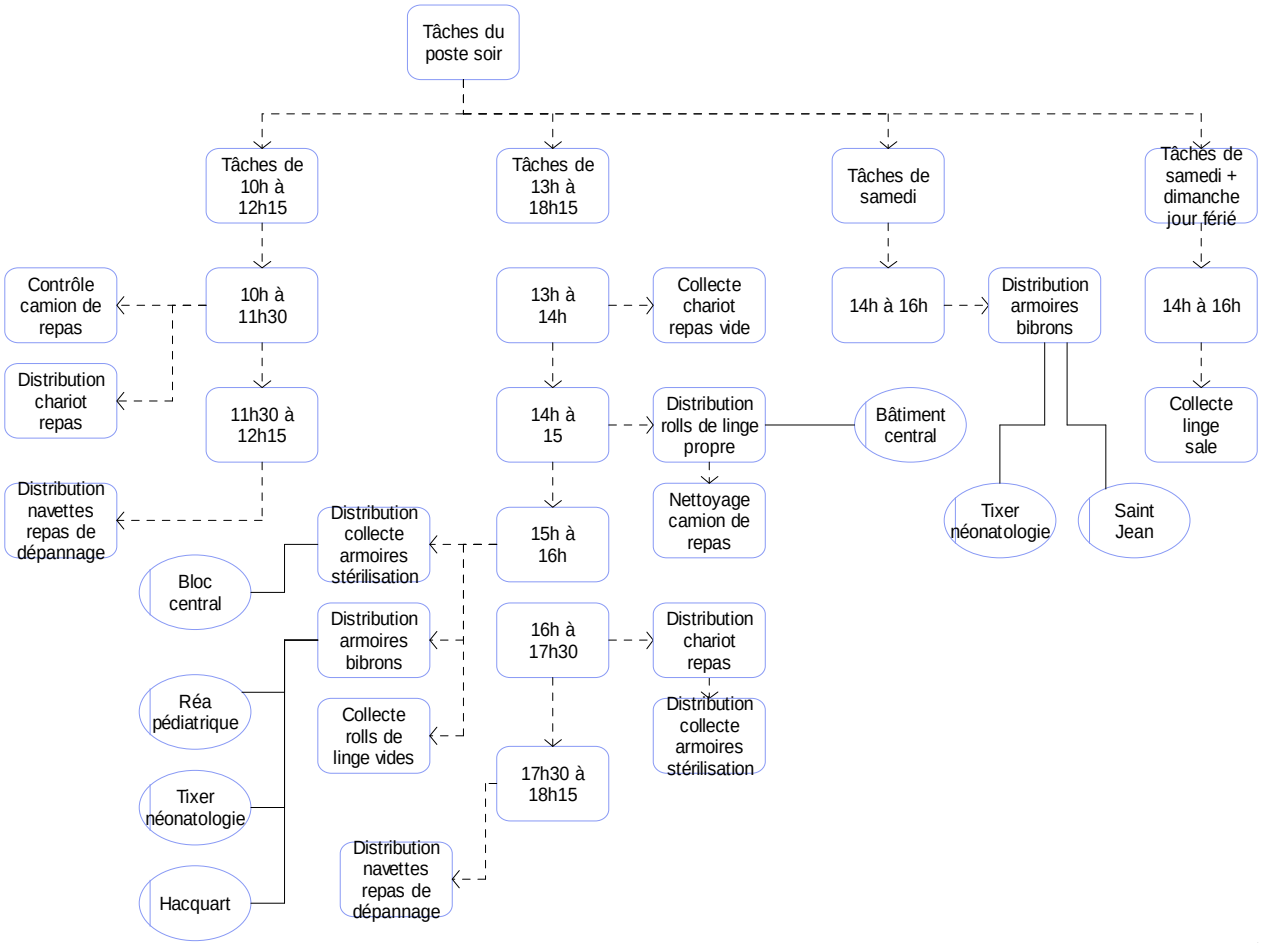


Figure 4.1.22 : Fonction de l'équipe du soir

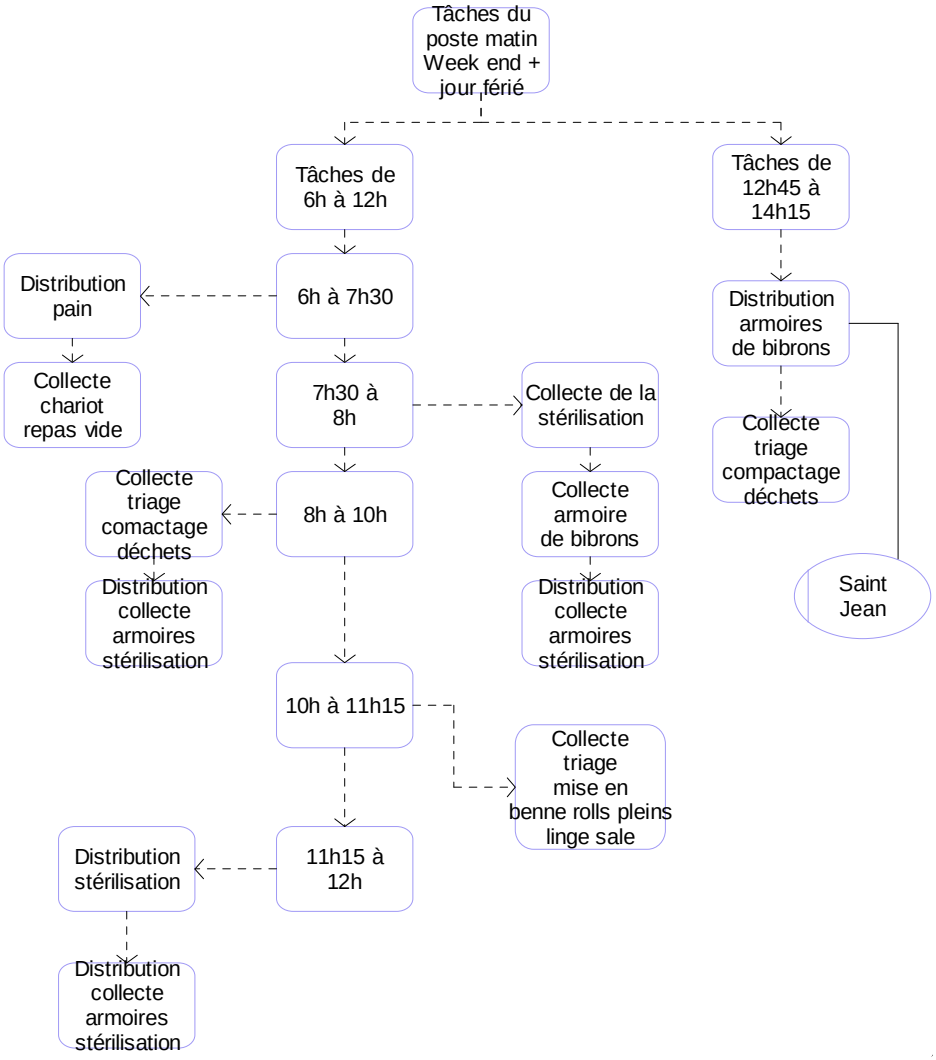


Figure 4.1.23 : Fonction de l'équipe de matin

La figure 4.1.22 présente les tâches effectuées par le personnel de l'équipe du soir de la zone de transit et cela est modélisé par un diagramme de fonction ou arbre de fonction ARIS d'une journée type du personnel. Ces diagrammes de fonction sont nécessaires à la spécification de ce service. Chaque arbre de fonction est constitué de plusieurs tâches du personnel divisées par tranches horaires et selon le planning de travail du personnel. Par exemple, chaque agent se voit attribué des tâches selon un emploi du temps spécifique. Ainsi, dans la spécification, les jours fériés et le week-end ont été pris en compte (figure 4.1.23).

2.3.3. Sous système physique

Le sous système physique de la zone de transit est composé des éléments suivants :

- Local blanchisserie,
- Local pharmacie
- Local CAL
- Local CAMS
- Local stérilisation

2.3.4. Sous système décisionnel

Ce diagramme montre les règles d'affectation des agents de la zone de transit. Il est réalisé à l'aide d'un diagramme d'activité UML comme l'indique la figure 4.1.24.

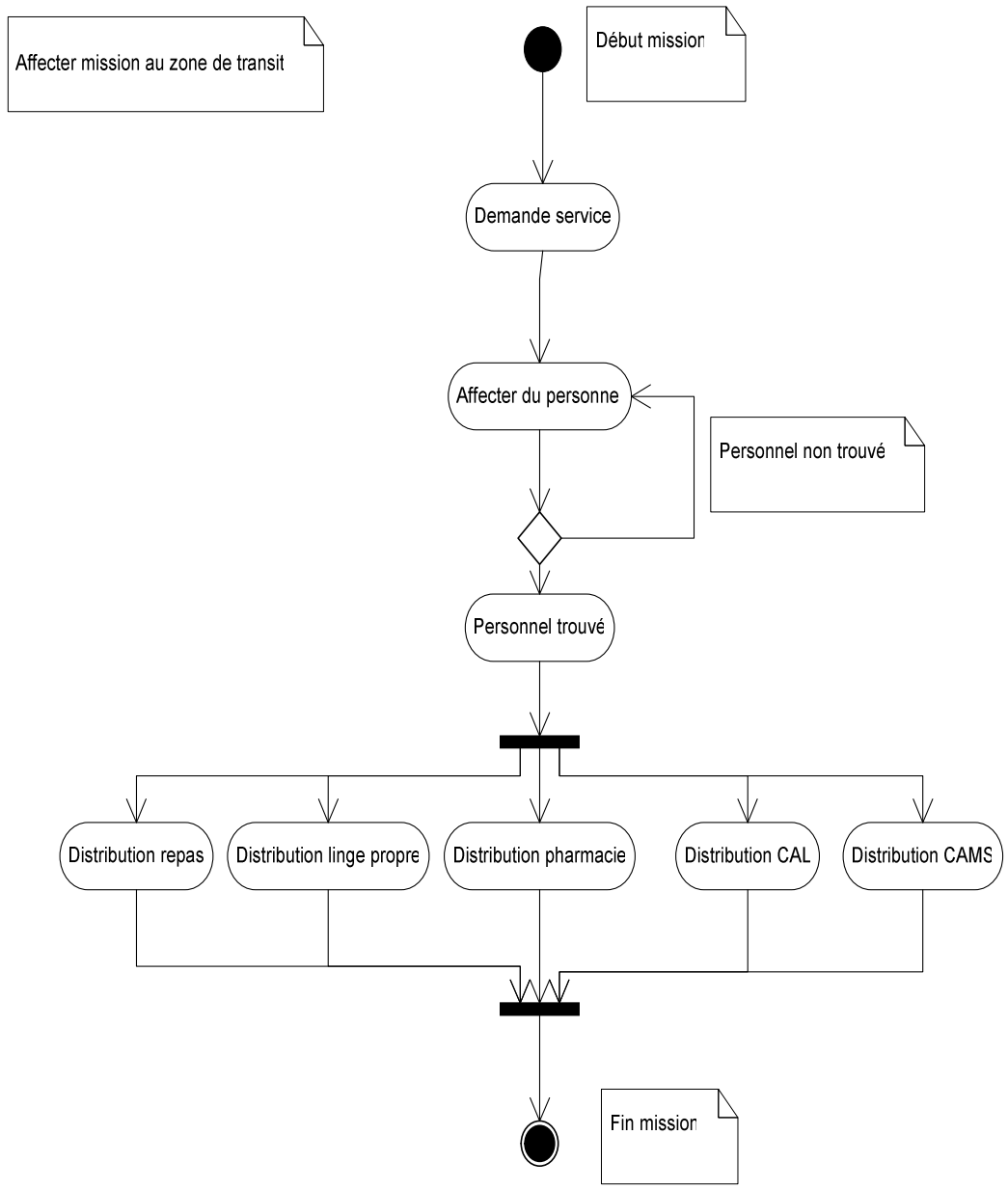
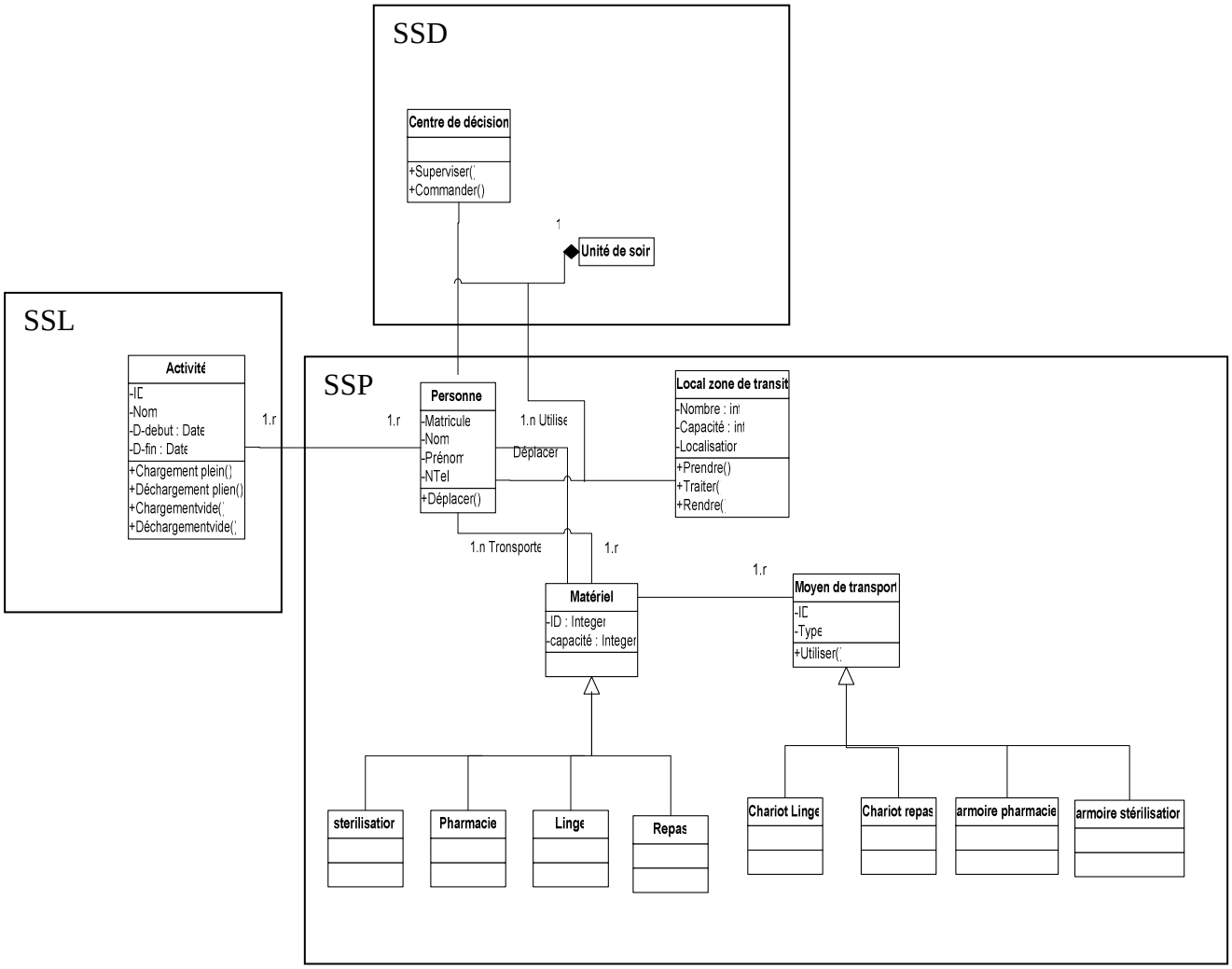


Figure 4.1.24 : Sous système décisionnel de la zone de transit

2.3.5. Communications entre les trois sous systèmes de la zone de transit

La figure 4.1.25 montre les relations entre les trois sous systèmes du service zone de transit. Il est réalisé à l'aide d'un diagramme de classe. Le sous système physique comporte les classes (personnel, matériel, local zone de transit, moyen de transport). La classe personnel est en relation avec la classe activité qui appartiennent au sous système logique. On remarque aussi dans le schéma ci-dessous qu'il y a une relation entre la classe personnel et la classe centre de décision car le personnel doit suivre des dispositions et des règles de gestion précises.



SSD : Sous système décisionnel.
SSL : Sous système logique.
SSP : Sous système physique.

Figure 4.1.25 : Communications entre les trois sous systèmes de la zone de transit

3. Modèle d'action

Le modèle d'action ou de simulation pour les deux pôles imagerie et logistique est la traduction du modèle de connaissance dans un formalisme mathématique ou de programmation.

3.1. Pôle imagerie

3.1.1. Modèle de classe de l'imagerie

Les méthodes dans chaque classe diffèrent selon les modèles d'actions ou de simulations, par exemple dans Witness les méthodes sont de type : Push (pousser un stock, article, ressource) et Pull (tirer un stock, article, ressource). En SIMULA les méthodes sont de type : Enter_region et Leave_region (collecter les données pour effectuer automatiquement les statistiques), Enter_storage et Leave_storage (pour gérer des stocks ou des ressources). QNAP2 est doté d'un langage orienté objet, les principales méthodes sont définies par la

notion de service apporté à un client et le routage (Transit des clients vers des stations), la création des clients.

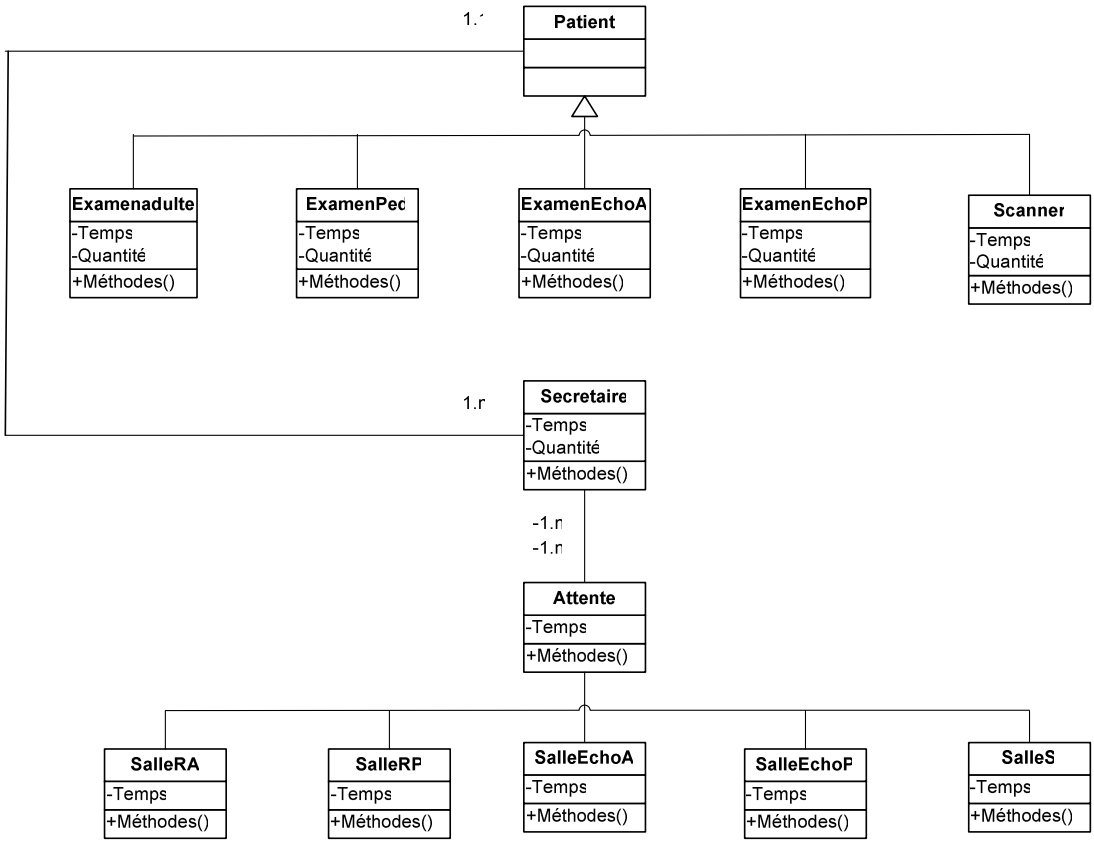


Figure 4.1.26 : Modèle de classe du pôle imagerie

3.1.2. Modèle de files d'attente

La conception d'un modèle d'action opérationnel est subordonnée aux objectifs de l'étude, aux hypothèses simplificatrices ainsi qu'aux informations disponibles concernant les caractéristiques du système. Lorsque l'objectif porte sur l'aide à la décision, des données complètes et fiables sont nécessaires et doivent être collectées avec prudence afin de ne pas inquiéter le personnel. Ce qui n'est pas encore le cas, après un mois d'étude du pôle Imagerie. Nous utilisons donc des estimations des caractéristiques et des hypothèses simplificatrices. Les modèles sont paramétrés et génériques, dans la mesure du raisonnable.

Une secrétaire est supposée chargée de l'accueil des patients mais ce n'est pas sa seule tâche. Son temps de service est un paramètre. Le patient attend ensuite une salle disponible et préparée (délai de préparation), puis un radiologue disponible qui effectue l'examen, libère la salle, interprète les résultats, rédige un compte-rendu et le remet au patient. La figure 4.1.26 présente un modèle simple de files d'attente. Les principaux services sont représentés par des délais. Certaines statistiques effectuées n'apparaissent pas sur ce schéma et dépendent de l'outil d'évaluation.

Les patients arrivent à une certaine cadence qui dépend du type d'examen, des rendez-vous pris et d'un aléa concernant leur acheminement par le service brancardage.

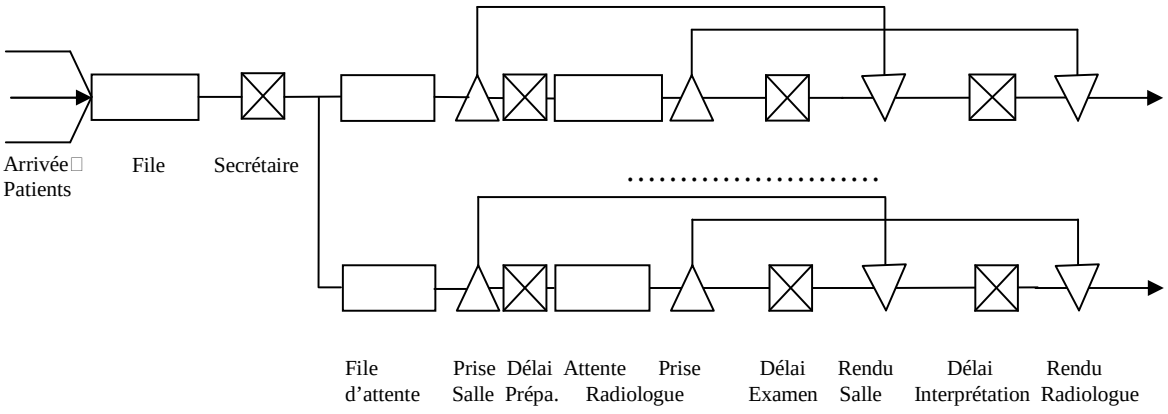


Figure 4.1.27 : Modèle de files d'attente du pôle imagerie

3.1.3. Modèle SIMULA

Le langage SIMULA a prouvé sa capacité d'implantation de différentes catégories de modèles de simulation. Il inclut des coroutines et des processus de la simulation à événement discret. De nombreuses classes existantes prolongent des possibilités du langage en gestion de transactions et en calcul de statistiques. La classe Gpsss fournit les objets de base tels que le service, le stockage, les notions de transaction et de région statistique. De plus un rapport de simulation est automatiquement généré. Il peut donc être employé comme en programmation GPSS mais avec toutes les capacités d'un langage de simulation orienté objet. Le processus d'arrivée des patients est modélisé à l'aide d'un flux d'objets *transaction*. Les proportions des types d'examen ne sont pas exactement celles données dans le tableau 4.2 car ces dernières comptabilisent des examens au chevet du patient ou au bloc opératoire. N'ayant pas suffisamment de données, la journée a été découpée en créneaux horaires d'examen dont la durée est un paramètre dépendant du service (tableau 4.2). Suivant la charge simulée, un créneau est occupé ou non et le patient peut arriver aléatoirement en avance ou en retard, par exemple suivant une loi uniforme sur l'intervalle [-10, +10] par rapport à l'heure de rendez-vous. L'activité d'accueil de la secrétaire est assurée par un objet *facility* qui correspond au serveur unique d'une station. Les statistiques concernant l'attente sont collectées par un objet *region*. L'objet *storage* remplit le triple rôle : de serveur multiple, de stock et de lot de ressources. Les délais associés aux durées de traitement (accueil, préparation de salle, examen, interprétation) sont exécutés par l'appel à la méthode *hold*. Les objets utilisés et les résultats sont regroupés dans le tableau 4.1. Les objets *transaction* patients suivent le même schéma de traitement avec des délais paramétrés comme la montre le tableau 4.1. Une seule classe de patients est nécessaire et un attribut permet de préciser le type d'examen à exécuter.

L'activité d'accueil de la secrétaire est décrite par une durée suivant une loi uniforme (1 ; 5) et occupe 36% de son temps de travail. Les trois aides radiologues (*AideR*) sont des ressources partagées entre les cinq services. La durée de préparation a été choisie constante 5 minutes. Le taux d'occupation est faible 20% mais certains paramètres ne sont, actuellement, que des estimations grossières. Le taux d'occupation des salles est compris entre 50% et 93% et celui des équipes entre 64% et 96%. Il ne s'agit que d'une simulation sur une durée de 8 heures, des intervalles de confiance permettraient de préciser l'utilisation des ressources. Les durées d'examen et d'interprétation ont été considérées uniformes sur des intervalles dépendant du service mais il n'a pas été possible de prendre en compte la pathologie du patient. Les lignes *AttExamen* fournissent les nombres moyens et les temps moyens de séjour par service des patients dans le pôle imagerie. La durée moyenne d'attente d'une salle libre et préparée est donnée par *AttSalle*, celle d'attente d'une équipe (un radiologue ou deux opérateurs scanner) figure en ligne *AttEquipe*, enfin *Examen* fournit les statistiques sur les examens. Remarquons qu'en radiologie pédiatrie, le temps moyen de séjour est très important par rapport à la durée d'examen, cela est dû à un temps d'interprétation pouvant atteindre la moitié du temps de séjour. La conception et l'implantation du modèle ont été particulièrement rapides, la manipulation des objets *x* de la classe Gpsss étant basée sur deux méthodes *Enter_x* et *Leave_x*. D'autre part, les statistiques fournies automatiquement sont suffisamment détaillées.

```
* facilities *
                          avg.    avg.time
                 entries contents  transit   status
Secretaire          62     0.36     2.76    free

* storages *
                     avg.    avg.time   contents
            entries contents  transit   now  max capacity util.
AideR        59     0.62     5.00     0     3        3  20.49%
SalleRA      11     0.63    27.46     0     1        1  62.92%
EquipeRA     11     0.69    30.10     0     1        1  68.98%
SalleRP      10     0.79    38.01     1     1        1  79.18%
EquipeRP      9     0.96    51.42     1     1        1  96.41%
SalleEA      10     0.74    35.68     1     1        1  74.34%
EquipeEA     10     0.80    38.40     1     1        1  80.00%
SalleEP      21     0.93    21.22     1     1        1  92.83%
EquipeEP     21     0.93    21.18     1     1        1  92.68%
SalleS        7     0.50    34.59     0     1        1  50.44%
EquipeS       7     0.64    43.88     0     1        1  63.99%

* regions *
                       avg.   avg.time   contents   non-zero
            entries contents  transit   now   max transit entr
AttSecretaire 62     0.07     0.51     0     2     1.67
AttExamenRA   11     0.96    41.75     0     2    41.75
ExamenRA      11     0.47    20.58     0     1    20.58
AttSalleRA    11     0.15     6.67     0     1     6.67
AttEquipeRA   11     0.04     1.88     0     1     6.89
AttExamenRP   11     1.91    83.43     3     4    83.43
ExamenRP       9     0.30    16.19     0     1    16.19
AttSalleRP    11     0.49    21.42     1     2    21.42
AttEquipeRP   10     0.38    18.43     1     1    20.48
AttExamenEA   10     1.06    50.82     1     2    50.82
ExamenEA      10     0.60    28.94     1     1    28.94
AttSalleEA    10     0.13     6.39     0     1     6.39
AttEquipeEA   10     0.04     1.74     0     1     4.36
AttExamenEP   23     2.60    54.33     3     4    54.33
ExamenEP      21     0.61    14.04     1     1    14.04
AttSalleEP    23     1.45    30.17     2     3    30.17
AttEquipeEP   21     0.10     2.18     0     1     2.54
AttExamenS     7     0.77    52.53     0     1    52.53
ExamenS        7     0.43    29.59     0     1    29.59
AttSalleS      7     0.07     5.00     0     1     5.00
AttEquipeS     7     0.00     0.00     0     1
```

Tableau 4.1 : Résultats SIMULA du pôle imagerie

3.1.4. Modèle Witness

Le modèle de simulation du pôle imagerie est représenté par le schéma suivant :

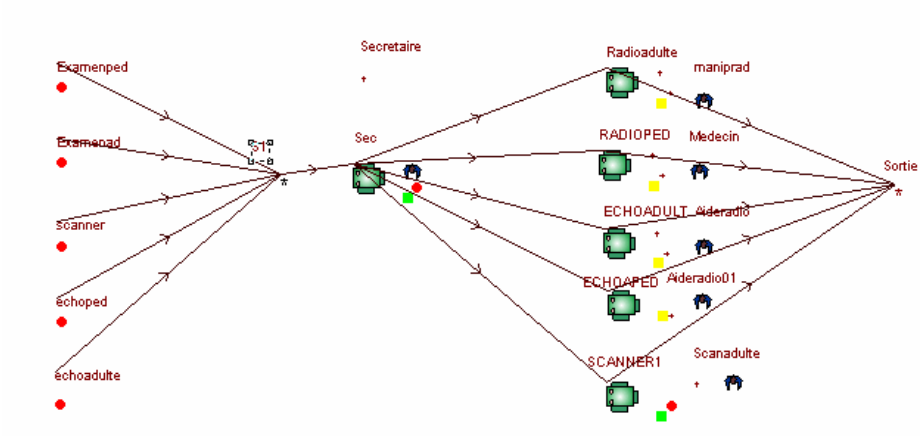


Figure 4.1.28 : Modèle de simulation du pôle imagerie

Les données concernant le pôle imagerie sont représentées dans le tableau 4.2 en terme de loi de traitement et temps d'arrivée. Sachant qu'on a utilisé des articles pour désigné les différents examens qui subissent le patient et des machines pour effectuer le routage du patient d'un service à l'autres. Ces machines et articles sont décrits dans le tableau 4.3.

Traitements	Lois des traitements	Temps d'arrivée
Radiologie adulte	Uniform(10,55)	40
Radiologie pédiatrie	Uniform(10,55)	40
Echographie adulte	Uniform(15,55)	45
Echographie pédiatrie	Uniform(15,55)	45
Scanner	Uniform(25,70)	60

Tableau 4.2 : Modèle de données du pôle imagerie

Les composants logiciels utilisés dans le modèle Witness du pôle imagerie sont donnés dans le tableau 4.3 :

Composant Witness	**Symboles utilisés**	**Désignation**
Articles	Examenped Examenad Scanner Echoped Echoadulte	Examen pédiatrique. Examen adulte. Examen scanner. Echographie pédiatrique. Echographie adulte
Stocks	S1 Sortie	Stocker les types d'examens. Pour définir la fin de l'examen.
Machines	Radioadulte (RA) Radioped (RA) Echoadulte (EA) Echoped (EP) Scanner1 (S) Sec	Désigne le service radiologie adulte. Désigne le service radiologie pédiatrie. Désigne le service échographie adulte. Désigne le service échographie pédiatrie. Désigne le service scanner. Désigne le secrétariat.

Tableau 4.3 : Les composants logiciels Witness du pôle imagerie

Principe de fonctionnement
A partir des demandes d'examens qui viennent aléatoirement soit par téléphone ou par courrier, le secrétariat traite ces demandes puis il accueille les patients qui sont acheminés vers le service destination (scanner, échographie adultes, échographie pédiatrie, radiologie adultes, radiologie pédiatrie). Chaque destination possède des ressources (salles, personnes) qui sont utilisées pour l'examen. Ces ressources sont affectées à des patients lorsque elles sont disponibles, sinon le patient attend qu'elles se libèrent pour subir son examen.

Résultats de simulation du modèle Witness

Le tableau 4.4 présente les résultats de simulation Witness du pôle imagerie en terme de ressources et de machines citées auparavant. Les taux d'occupation des équipes de radiologie sont proches de ceux obtenus en SIMULA. Les autres sont moins proches, cela s'explique par le faible nombre d'examens (7 à 21) et par la dispersion du nombre de tâches.

Ressources						
	Sec	RA	EA	RP	S	EP
% occupé	32.70	74.30	95.70	98.30	97.20	54.40
Nb tâches	56	12	11	7	8	12
tps tâches	2.80	30.90	42.80	65.20	62.80	22.00

Tableau 4.4 : Résultats Witness du pôle imagerie

3.1.5. Modèle QNAP2 du pôle imagerie

```
/DECL/QUEUE SRA,SRP,SEA,SEP,SSC,
            SEC,RA,RP,EA,EP,SC;
    CLASS CRA,CRP,CEA,CEP,CSC;
/STAT/NAME=SRA; TYPE=SOURCE;
    SERVICE=UNIFORM(30, 50);
    TRANSIT=SEC,CRA;
/STAT/NAME=SRP; TYPE=SOURCE;
    SERVICE=UNIFORM(30, 50);
    TRANSIT=SEC,CRP;
/STAT/NAME=SEA; TYPE=SOURCE;
    SERVICE=UNIFORM(35, 55);
    TRANSIT=SEC,CEA;
/STAT/NAME=SEP; TYPE=SOURCE;
    SERVICE=UNIFORM(10, 30);
    TRANSIT=SEC,CEP;
/STAT/NAME=SSC; TYPE=SOURCE;
    SERVICE=UNIFORM(50, 70);
    TRANSIT=SEC, CSC;
/STAT/NAME=SEC;
    SERVICE=UNIFORM(1, 5);
    TRANSIT(CRA)=RA;
    TRANSIT(CRP)=RP;
    TRANSIT(CEA)=EA;
```

```
    TRANSIT(CEP)=EP;
    TRANSIT(CSC)=SC;
/STAT/NAME=RA;
    SERVICE=UNIFORM(10, 55);
    TRANSIT=OUT;
/STAT/NAME=RP;
    SERVICE=UNIFORM(10, 100);
    TRANSIT=OUT;
/STAT/NAME=EA;
    SERVICE=UNIFORM(30, 56);
    TRANSIT=OUT;
/STAT/NAME=EP;
    SERVICE=UNIFORM(15, 30);
    TRANSIT=OUT;
/STAT/NAME=SC;
    SERVICE=UNIFORM(25, 80);
    TRANSIT=OUT;
/CONT/TMAX=480;  & 8 HEURES
&ACCURACY=SEC,RA,RP,EA,EP,SC;
/EXEC/BEGIN SIMUL; SIMUL; SIMUL; END;
/END/
```

Tableau 4.5 : Modèle QNAP2 du pôle imagerie

Le modèle QNAP2 a un niveau de simplification semblable à celui en Witness, de plus le temps de préparation des salles (5 minutes) a été négligé. Ce qui a une incidence sur le temps de séjour des patients dans le système mais peu d'influence sur l'utilisation des ressources.

Le tableau 4.5 montre la simplicité de la spécification du modèle en QNAP2. L'approche de modélisation est orientée station. Le modèle est structuré en sections : les déclarations de variables, la définition des stations, la donnée de paramètres de contrôle et la méthode utilisée

pour évaluer le modèle. Les sources génèrent les patients dont la classe dépend du type d'examen. Les patients sont tous dirigés vers le secrétariat qui assure l'accueil et le routage vers le service concerné. La station d'examen effectue son service sous forme agrégé, en regroupant le temps d'examen et celui d'interprétation. Ici, le type, la loi de service et le routage (*transit*) suffisent pour définir les stations Le patient sort par la station *out*. Une simulation dure *tmax* = 480 minutes donc 8 heures. Le modèle peut fournir des intervalles de confiance (*accuracy*) pour des stations et des classes. L'évaluation est faite à l'aide de trois simulations

Résultats QNAP2 du pôle imagerie

Les résultats du pôle imagerie fournis par QNAP2 sont présentés dans le tableau 4.6. Ces résultats portent sur le taux d'occupation des ressources (busy pct), le nombre moyen de clients (cust nb), le temps moyen de service (service) et de séjour (response). Le temps d'inter-arrivée en échographie pédiatrique (SEP) est passé de Uniform(35 ; 55) à Uniform(10 ; 30) donc le taux est plus que doublé et sa durée de traitement (EP) divisée par 2. La durée de traitement au scanner (SC) est passée de Uniform(25 ; 70) à Uniform(25 ; 80). Les résultats sont comparables aux deux autres modèles en langages de simulation SIMULA et Witness . Le nombre d'examens EP est environ triplé. Les ressources n'étant pas en conflit les branches parallèles du modèle se comportent indépendamment sauf pour la secrétaire. QNAP2 refuse de donner des intervalles de confiance car le nombre d'évènements est trop faible.

```
*** SIMULATION *** TIME =          480.00
*******************************************************************
*   NAME   *  SERVICE * BUSY PCT *  CUST NB * RESPONSE *  SERV NB *
*******************************************************************
*SRA       * 39.70    * 1.000    * 1.000    * 39.70    *   12     *
*SRP       * 40.39    * 1.000    * 1.000    * 40.39    *   11     *
*SEA       * 44.15    * 1.000    * 1.000    * 44.15    *   10     *
*SEP       * 20.70    * 1.000    * 1.000    * 20.70    *   23     *
*SSC       * 59.11    * 1.000    * 1.000    * 59.11    *    8     *
*          *          *          *          *          *          *
*SEC       * 3.091    *0.4058    *0.5395    * 4.054    *   63     *
*RA        * 35.61    *0.8405    * 1.102    * 48.16    *   10     *
*RP        * 70.25    *0.9074    * 2.829    * 130.3    *    6     *
*EA        * 44.14    *0.8861    * 1.045    * 51.98    *    9     *
*EP        * 23.22    *0.9460    * 2.264    * 49.92    *   19     *
*SC        * 44.94    *0.6580    *0.7222    * 49.20    *    7     *
*******************************************************************
```

Tableau 4.6 : Résultats QNAP2 du pôle imagerie

3.2. Brancardage

Avant de présenter le modèle d'action du service brancardage, il est nécessaire de connaître son fonctionnement. La figure 4.1.29 montre bien le fonctionnement du service. Les activités, portées par chaque arc, ont été numérotées pour représenter la chronologie. La mission commence au numéro 0 qui correspond à la demande de mission et se termine au numéro 5 qui correspond à la libération de la ressource matérielle (moyen de transport) et éventuellement du brancardier.

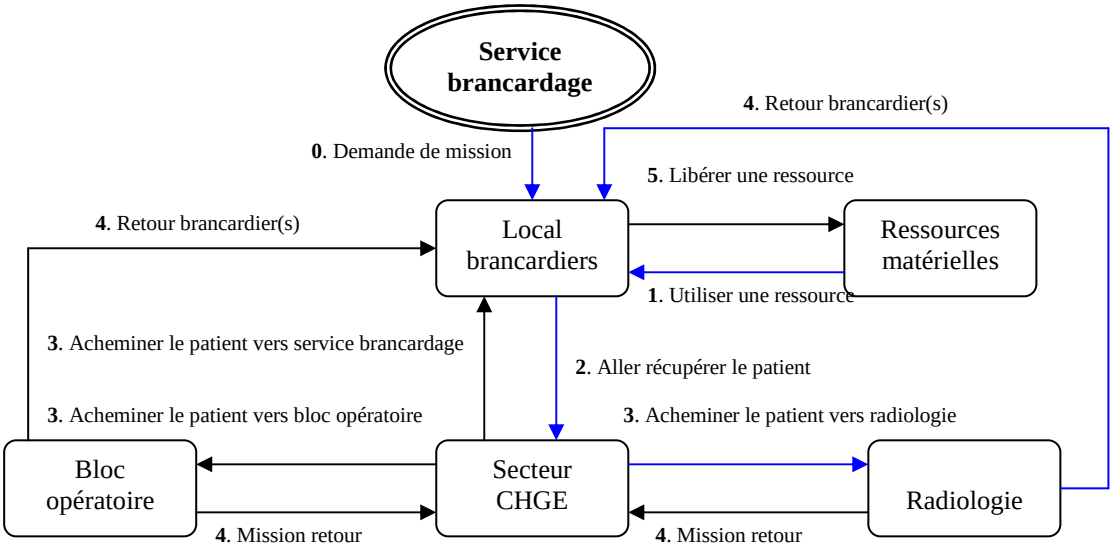


Figure 4.1.29 : Fonctionnement du service brancardage

3.2.1. Modèle de classe de brancardage

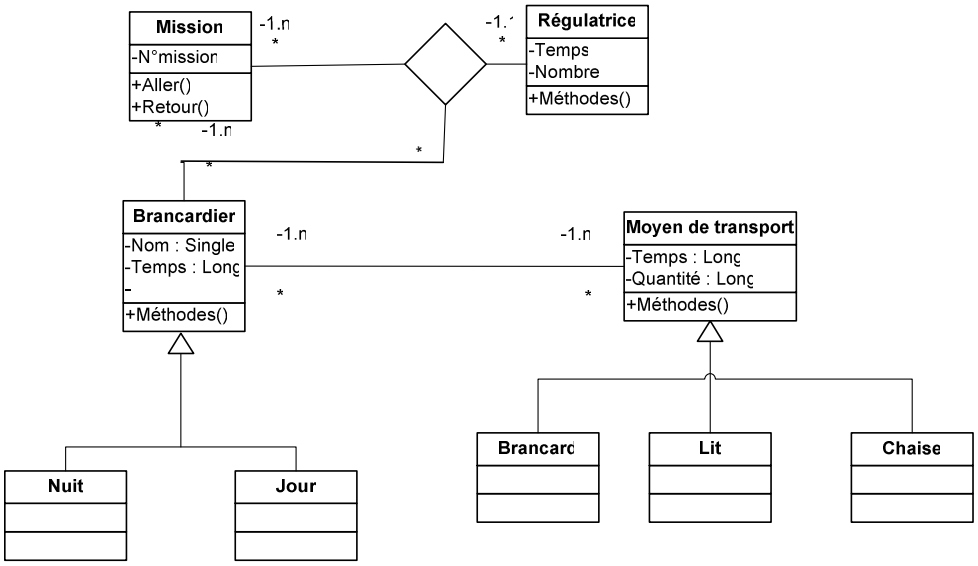


Figure 4.1.30 : Modèle de classe de brancardage

Ce diagramme de classe est composé de neuf classes ; pour chaque classe est formée de propriétés (temps et quantité) ainsi que des méthodes décrites auparavant. Sachant qu'une régulatrice peut donner une mission à un ou plusieurs brancardiers. Un brancardier peut être soit du jour ou bien du soir. Un moyen de transport est composé de trois sous classes (lit, brancard et chaise).

3.2.2. Modèle de files d'attente

Le modèle de files d'attente du service brancardage est représenté en figure 4.1.31 : il contient des ressources (brancardier, lit, chaise) prises et rendus, ainsi que des durée de traitement pour chaque mission effectuée.

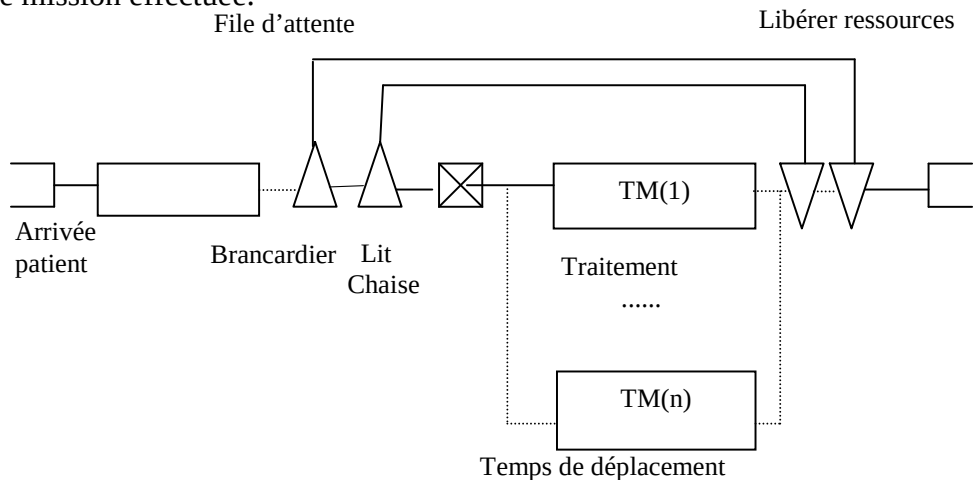


Figure 4.1.31 : Réseau de files d'attente brancardage

Modèle de données

Les données utilisées dans le service brancardage sont représentées dans le tableau 4.7. Pour chaque mission on a calculé la moyenne (Avg.time) et l'écart type (std dev) et cela en utilisant des statistiques qui nous ont été fournies par l'hôpital Hôtel Dieu pour l'année 2006.

		Chaise	Lit
CHGE to Radio	Avg. time	15.48	18.06
	Std dev.	7.4.18	8.33
Radio to CHGE	Avg. time	11.73	10.87
	Std dev.	10.05	8.74
SBR to CHGE	Avg. time	8	5.17
	Std dev.	3.74	1.47

Tableau 4.7 : Modèle de données du brancardage

3.2.3. Modèle SIMULA

```
* storages *
************
                         avg.    avg.time   contents
                 entries contents  transit   now   max capacity   util.

brancardier      100076    48.90    24.43    60    60       60    81.50%
fauteuil         100056    39.02    19.50    40    40       40    97.54%


* regions *
***********
                         avg.    avg.time   contents  non-zero   zero
                 entries contents  transit   now   max  transit  entries

mission          100132    53.71    26.82   116   135    26.82      0
atm              100132    14.69     7.34    76    95     7.34      0
atb              100132     4.81     2.40    56    75     2.40      2
atf              100076     9.89     4.94    20    20     4.94      2
atr              100052     4.00     2.00     0    13     2.00      0
atd              100047    20.01    10.00    23    31    10.00      0
```

Tableau 4.8 : Modèle SIMULA du brancardage

Le tableau 4.8 représente le modèle SIMULA du service brancardage, il donne des résultats sur les ressources utilisées dans le modèle (brancardier et fauteuil), ainsi que des statistiques sur les missions effectuées dans le service.

3.2.4. Modèle Witness

A partir du modèle de connaissance du service brancardage nous avons pu construire le modèle de simulation sous WITNESS qui est constitué de plusieurs composants (articles, stocks et machines). Le schéma 4.1.32 montre le fonctionnement de ce service. Nous avons utilisé, pour représenter les demandes téléphoniques et les ressources (brancard, lit et chaise), 4 articles (tel, br, bed, chair) ainsi que 4 machines (BC, LB, CHGE, Radio) pour représenter les services. De plus, 10 stocks ont été gérés pour effectuer le routage ou le passage d'un service à l'autre et cela en utilisant les données présentées dans le tableau 4.7.

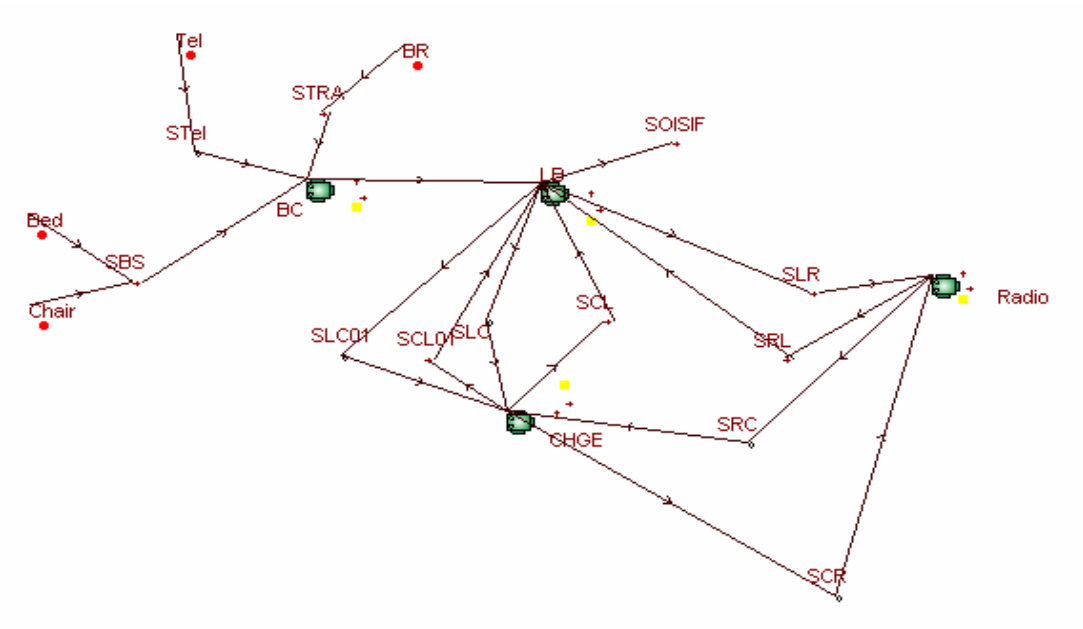


Figure 4.1.32 : Modèle Witness du brancardage

Les composants logiciels utilisés dans le modèle Witness du service brancardage sont les suivants :

Composant Witness	Symboles utilisés	Désignation
Articles	Tel	Appel téléphonique
	Bed	Un lit
	Chair	Un fauteuil
	BR	brancardier
Stocks	SBS	Stocker des lits + fauteuil
	STRA	Stocker les brancardiers
	SOISIF	Stocker le rendu des brancardiers
	STEL	Stocker les appels téléphoniques
	SCL	Temps de déplacement du CHGE vers local brancardier
	SLC	Temps de déplacement du local brancardier vers CHGE
	SCL01	Temps de déplacement du CHGE vers local brancardier
	SLC01	Temps de déplacement du local brancardier vers CHGE
	SLR	Temps de déplacement du local brancardier vers radio
	SRL	Temps de déplacement du radio vers local brancardier
	SRC	Temps de déplacement radio vers CHGE

	RCR	Temps déplacement CHGE vers radio
Machines	BC LB CHGE RADIO	Service du central de brancardage Local des brancardiers Service digestif Service radiologie

Tableau 4.9 : Les composants logiciel du brancardage

Principe de fonctionnement

Le central de brancardage « BC », diffuse les missions au service local brancardiers « LB », qui arrivent par un appel téléphonique ou un service donné demande une mission pour une date donnée en utilisant des ressources brancardiers soit un seul pour un fauteuil ou deux brancardiers pour un lit selon la mission demandée. Il existe trois types de missions :
Mission 1 : demande de brancardage du local brancardage vers CHGE (centre hépato-gastro),
Mission 2 : demande de brancardage du local brancardage vers la Radio en passant par le CHGE,
Mission 3 : demande de brancardage du local brancardage vers CHGE en passant par le service radiologie.
Les machines sont utilisées pour effectuer le routage d'un service à l'autre avec un temps nul.
Chaque machine dispose de deux lois : une loi d'entrée (PULL) et une autre de sortie (PUSH). Les stocks sont utilisés dans le modèle pour stocker le temps de déplacement qui peut être défini par la fonction (1) :

Temps de déplacement =
UNIFORM (5,10) + max (NORMAL (moy, ecart-type) ,0) + UNIFORM (5,10) (1)

Dans ce cas, la loi UNIFORM est utilisée pour représenter le temps de chargement déchargement du patient et la loi NORMAL est utilisée pour le temps de déplacement d'un service à l'autre et celui-ci diffère selon le type de mission 1, 2 ou 3.
A la fin de chaque mission il y a un rendu des ressources (fauteuil ou lit et brancardiers) au stock « SOISIF ».

Résultats de simulation

Les résultats fournis par Witness, pour le service brancardage, sont donnés en terme d'articles et de machines. Ils sont présentés dans les tableaux 4.10 et 4.11 :

Articles				
Nom	Tel	Bed	BR	Chair
Quantité Entrée	562	500	570	500
Tps Moy.	2684.16	5150.50	2726.83	5150.50

Tableau 4.10 : Résultats articles brancardage

Nom	BC	LB	CHGE	Radio
%Ocup.	68.06	39.09	29.02	10.02
Nombre d'op.	562	17623	17378	754.1

Tableau 4.11 : Résultats machines brancardage

3.2.5. Résultats QNAP2 du brancardage

Ce tableau donne les mêmes résultats cités dans le modèle QNAP2 de pôle imagerie sauf que les données sont pour le service brancardage. Ces éléments de résultats sont les ressources de moyens de transport (Chair, Bed) et les services de source et de destination (Src, CtrlQ, SteBe, CR, RC, ChSbr). Sachant que dans ce modèle les brancardiers sont représentes a l'intérieure d'une mission.

NAME	SERVICE	BUSY	CUST NB	RESPONS	SERV NB
Src	10.04	1.0000	1.000	10.04	53785
CtrlQ	2.399	.2390	.3161	3.174	53785
(Chair)	2.240	.1485	.1997	3.012	35798
(Bed)	2.717	.09049	.1164	3.495	17987
StBe	28.80	.4784	3.868	29.10	71770
+/-	.0889	.00436	.03681	.0949	
(Chair)	28.42	.2355	1.900	28.66	35796
(Bed)	29.17	.2429	1.968	29.54	35974
CR	30.48	.0000	1.609	30.48	28512
(Chair)	29.58	.0000	1.043	29.58	19047
(Bed)	32.28	.0000	.5659	32.28	9465
RC	26.03	.0000	.7025	26.03	14572
(Chair)	26.45	.0000	.4721	26.45	9639
(Bed)	25.22	.0000	.2304	25.22	4933
ChSbr	17.01	.0000	.3371	17.01	10699
(Chair)	17.94	.0000	.2362	17.94	7110
(Bed)	15.18	.0000	.1009	15.18	3589

Tableau 4.12 : Résultats QNAP2 du brancardage

3.3. Zone de transit

Dans le système hospitalier actuel, les équipes dirigeantes ont toutes un même objectif : améliorer la logistique hospitalière. Les principaux flux qui circulent dans la zone de transit sont : les flux de matières, humains, financiers et les flux informationnels.

Entre les sites du CHU circulent des flux de tous types. La logistique regroupe plusieurs activités qui sont liées les unes aux autres par des flux, tels que ceux de matières ou d'information. Dans la zone de transit les agents s'occupent de la collecte des flux de contenants pleins tels que le linge, les repas, la pharmacie, matériel non stérile (CAL) et matériel stérile (CAMS), puis ils les distribuent vers les différentes unités de soins de l'hôpital. Enfin, ils collectent des flux de contenants vides tels que les chariots repas vides, sacs le linge sale, les bacs vides de la pharmacie.

3.3.1. Modèle de classe de la zone de transit

Le modèle de classe de la zone de transit est composé de quinze classes ; les propriétés de chaque classe sont de type (temps et quantité) ; les méthodes de la classe opérateur sont de type (chargement-plein, déchargement-plein, déplacement-plein, déplacement-vide).

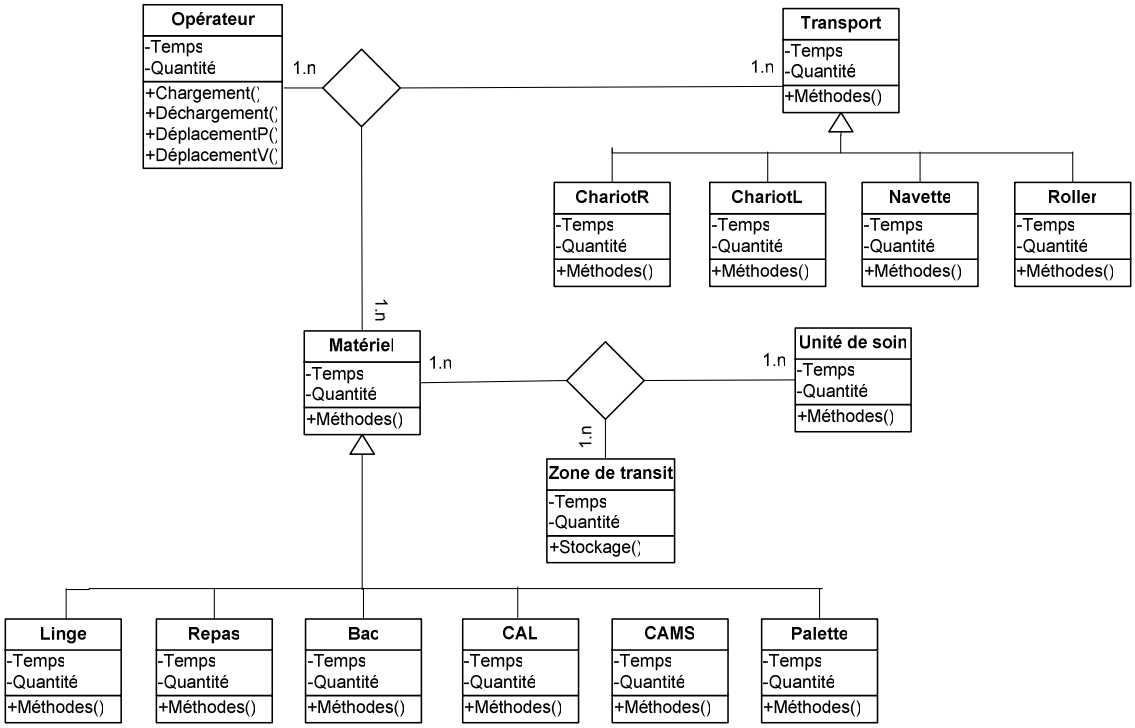


Figure 4.1.33 : Modèle de classe de la zone de transit

Le sous système logique de la zone de transit est représenté dans le modèle de connaissance ARIS par des diagrammes chaînes de processus événementiels (CPE) ainsi que des processus et des fonctions. La liste ci-dessous donne les différents CPE utilisés dans notre modèle afin de spécifier le service zone de transit.

3.3.2. Modèle de files d'attente

La figure 4.1.33 présente un modèle de files d'attente. Ce modèle a été réalisé à partir des diagrammes de chaînes de processus événementielles d'ARIS et fonctionne comme suit : les camions arrivent à la zone de transit entre 7h et 8h du matin et entre 15h et 15h30 l'après-midi. Chaque camion transporte du matériel (linge, repas, pharmacie, …). Les agents distribuent les matériels aux différentes unités de soins en utilisant un moyen de transport (chariot, roller, navette,…) et récupèrent ultérieurement les contenants vides (chariot repas, bac pharmacie,…).

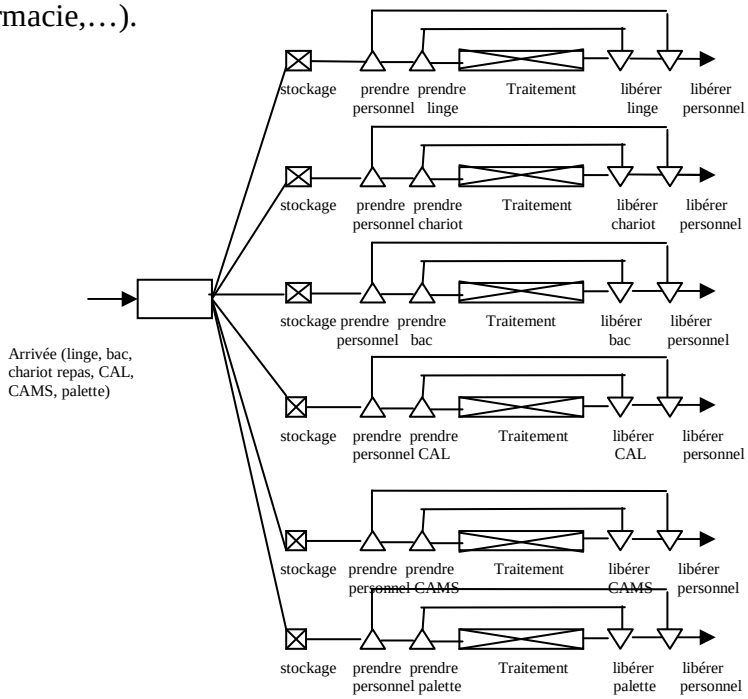


Figure 4.1.34 : Modèle de files d'attente de la zone de transit

La figure ci-dessus présente les différents types de clients susceptibles d'attendre (linge sale, repas, CAL, CAMS, bac de pharmacie). Ces clients sont également transportés par des agents, aux moyens de deux types d'unités de flux (contenants pleins/vides) qui sont considérés dans notre cas comme des ressources. Le modèle de simulation gère des transactions (les missions correspondant au transport de matière d'un point à un autre de la zone de transite vers les unités de soins et inversement). Les flux informationnels ne sont pas transportés de la même façon donc n'interviennent pas dans le modèle proposé. Les phénomènes d'attente concernent essentiellement la non disponibilité des agents et des moyens de transport. Pour chaque unité de flux on a représenté sa durée de stockage comme le montre le tableau 4.13. Le fait que la durée de traitement diffère selon les unités de soins, les moyens de transport et les unités de flux nous a incité à décomposer cette dernière en six types représentés dans le tableau ci-dessous. Nous avons utilisé des lois uniformes pour la mise au point des modèles. Une étude statistique à venir permettra de préciser des lois et d'estimer les paramètres pour le NHE.

Durée de traitement = chargement + déplacement plein + déchargement contenant plein + chargement vide + déplacement vide + déchargement (2)

Unité de flux	Stockage	Chargement	Déplace-plein	Déchargement	Charge-vide	Déplace-vide	Décharge-vide
Linge	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)	Uniform(10 ;20)	Uniform(5 ;10)	Uniform(1 ;5)	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)
Repas aller	Uniform(5 ;10)	Uniform(10 ;20)	Uniform(10 ;15)	Uniform(5 ;10)	0	Uniform(1 ;5)	Uniform(5 ;10)
Repas retour	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)	0	0	Uniform(1 ;5)	Uniform(1 ;5)	Uniform(1 ;5)
CAL	Uniform(10 ;50)	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)	Uniform(1 ;5)	Uniform(3 ;8)	Uniform(3 ;8)
CAMS	Uniform(20 ;60)	Uniform(8 ;15)	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)	Uniform(1 ;5)	Uniform(3 ;8)	Uniform(3 ;8)
Pharmacie	Uniform(20 ;60)	Uniform(10 ;15)	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)	Uniform(1 ;5)	Uniform(3 ;8)	Uniform(3 ;8)
Palette	Uniform(30 ;80)	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)	Uniform(5 ;10)	Uniform(1 ;5)	Uniform(3 ;8)	Uniform(3 ;8)

Tableau 4.13 : Distribution de la durée de traitement de la zone de transit

Le tableau ci-dessous (tableau 4.14) contient les distributions de quantité pour chaque unité de soin du NHE. Ainsi on a représenté le total des matériels, par exemple on a 40 armoires de linge, 4 chariots repas, 21 cartons de CAL, 36 chariots CAMS, 85 bacs de pharmacie et 48 rollers de palette. Pour obtenir la probabilité de flux (PF) qui entre dans une unité de soin US, on utilise la formule (3) :

PF (%) = (Quantité de flux / Total) * 100 (3)

Unité de soin	Linge	Repas	CAL	CAMS	Pharmacie	Palette
US1	15	28	06	12	36	15
US2	10	14	04	08	16	13
US3	05	42	05	12	11	09
US4	10	12	06	04	22	11

Tableau 4.14 : Distribution de flux par quantité de la zone de transit

3.3.3. Modèle SIMULA

Le modèle SIMULA est constitué de storage et des serveurs ainsi que des ressources et de région. Les camions transportent des matériels (bac, palette, repas, CAL, CAMS, linge) ils

arrivent selon une loi uniforme entre 7h et 8h et selon les quantités appropriées représentées dans le tableau 4.14. Les matériels sont distribués par des personnes de la zone de transit dans des unités de soins, dans notre cas nous utilisons quatre unités de soins ayant une durée de traitement représentée dans le tableau 4.13. Les ressources sont représentées à l'aide des objets storages (chariotL, navette, roller, chariotR), ainsi que les personnes qui s'occupent de la distribution avec un taux d'utilisation de 58.44%, alors que les régions représentent les transactions possibles dans le modèle SIMULA (chargement, déplacement plein, déchargement et déplacement à vide).

* storages *	entries	avg. contents	avg.time transit	contents now	max	capacity	util.
chariotL	4	0.28	33.73	0	2	2	14.06%
chariotR	8	0.50	29.81	0	4	4	12.42%
Roller	12	0.72	28.63	0	3	3	23.86%
Navette	4	0.26	30.64	0	1	1	25.54%
personne	56	2.34	20.05	0	4	4	58.49%

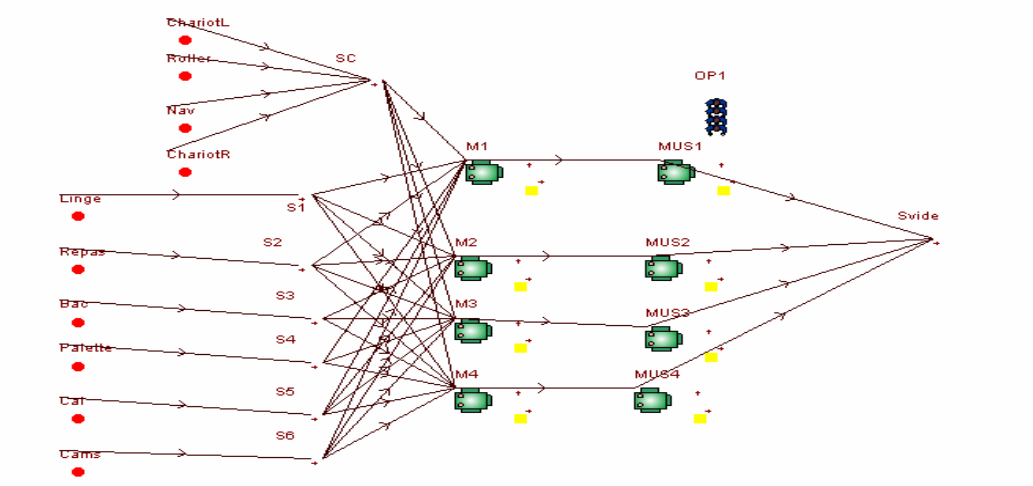
* regions *	entries	avg. contents	avg.time transit	contents now	max	non-zero transit	zero entries
chargementB	4	0.10	12.18	0	1	12.18	0
deplacementpB	4	0.06	6.72	0	1	6.72	0
dechargementB	4	0.06	7.32	0	1	7.32	0
deplacementvB	4	0.04	4.42	0	1	4.42	0
chargementL	4	0.11	13.07	0	1	13.07	0
deplacementpL	4	0.07	8.12	0	1	8.12	0
dechargementL	4	0.06	6.75	0	1	6.75	0
deplacementvL	4	0.05	5.79	0	1	5.79	0
chargementR	4	0.11	13.43	0	3	13.43	0
deplacementpR	4	0.11	13.33	0	2	13.33	0
dechargementR	4	0.00	0.10	0	1	0.10	0
deplacementvR	4	0.05	5.83	0	1	5.83	0
chargementCAL	4	0.06	7.29	0	2	7.29	0
deplacementpCAL	4	0.06	7.22	0	2	7.22	0
dechargementCAL	4	0.06	7.38	0	2	7.38	0
deplacementvCAL	4	0.05	5.74	0	1	5.74	0
chargementCAMS	4	0.09	10.42	0	2	10.42	0
deplacementpCAM	4	0.06	7.64	0	2	7.64	0
dechargementCAM	4	0.07	8.29	0	2	8.29	0
deplacementvCAM	4	0.05	6.39	0	2	6.39	0
chargementPAL	4	0.06	7.10	0	2	7.10	0
deplacementpPAL	4	0.06	7.11	0	2	7.11	0
dechargementPAL	4	0.06	7.47	0	2	7.47	0
deplacementvPAL	4	0.03	3.84	0	1	3.84	0

Tableau 4.15 : résultats SIMULA de la zone de transit

3.3.4. Modèle Witness

Le modèle Witness (figure 4.1.34) fournit une interface graphique de la zone de transit, il utilise des articles comme (palette, chariot repas, bac, CAL, CAMS, sac de linge) avec leurs quantités (tableau 4.14) et les moyens de transport (chariot linge, chariot repas, roller et navette).

Le routage de ses articles se fait par des machines qui représentent les unités de soins ou les articles seront distribués selon les probabilités utilisées à partir de la formule (3). Le stock vide est utilisé pour stocker les contenants vides. Sachant que les articles qui viennent dans la zone de transit suivent une loi uniforme représentée dans le tableau 4.13, la durée de traitement des unités de soins (US1, US2, US3, US4) est donnée par la formule (2).



it

Le tableau 4.16 contient les résultats du modèle Witness, ces résultats portent sur les articles : nombre d'entrées (Entrée) et le temps moyen de séjour (Tpsm), ainsi que sur les ressources : taux d'occupation (%Occup), nombre des tâches commencées (Comm.), nombre des tâches finies (Fini.) et le temps moyen d'utilisation (Tpsm).

ARTICLES					RESSOURCES	
Critère	ChariotL	ChariotR	Navette	Roller	Critère	OP1
Entrée Tpsm	4 212	8 240	4 331	12 185	%Occup. Comm. Fini. Tpsm	60.23 116 112 16.82

Tableau 4.16 : Résultats Witness de la zone de transit

Les composants logiciels pour le modèle Witness de la zone de transit sont les suivants :

Composant Witness	Symboles utilisés	Désignation
Articles	Palette Bac Repas CAL CAMS Linge	Transport de palette Transport de la pharmacie Transport de repas de la restaurant Produits de matériel stérile Produits de matériel non stérile Linge propre arrivée à la blanchisserie
Stocks	S1 S2 S3 S4 S5 S6 Svide	Stocker les palettes Stocker les bacs Stocker les repas Stocker les produits CAL Stocker les produits CAMS Stocker le linge Utiliser pour le déchargement des articles
Machines	US1 US2 US3 US4	Unité de soin 1 Unité de soin 2 Unité de soin 3 Unité de soin 4

Tableau 4.17 : Les composants Witness de la zone de transit

3.3.5. Modèle QNAP2 de la zone de transit

Le tableau 4.18 montre la simplicité de la spécification du modèle en QNAP2. L'approche de modélisation est orientée station. Le modèle est structuré en sections : les déclarations de variables, la définition des stations, la donnée de paramètres de contrôle et la méthode utilisée pour évaluer le modèle.

Une simulation dure *tmax* = 480 minutes donc 8heures. Le modèle peut fournir des intervalles de confiance (*ACCURACY*) pour des stations et des classes. Le tableau 4.19 présente les résultats obtenus avec la première simulation. Sachant que les ressources de transport ne sont pas représentées dans ce modèle.

```
/DECLARE/QUEUE bac,pa,repas,linge,cal,cams,us1,us2,us3,us4;

/STATION/ NAME=bac;
        TYPE=SOURCE;
        SERVICE=UNIFORM(5, 10);
        TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=pa;
        TYPE=SOURCE;
        SERVICE=UNIFORM(5, 10);
        TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=repas;
        TYPE=SOURCE;
        SERVICE=UNIFORM(5, 10);
        TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=linge;
        TYPE=SOURCE;
        SERVICE=UNIFORM(5, 10);
        TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=cal;
        TYPE=SOURCE;
            SERVICE=UNIFORM(5, 10);
        TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
```

```
/STATION/ NAME=cams;
        TYPE=SOURCE;
        SERVICE=UNIFORM(5, 10);
        TRANSIT=us1, 1, us2, 1, us3, 1, us4, 1;
/STATION/ NAME=us1;
        SERVICE=UNIFORM(15, 30);
        TRANSIT=OUT;
/STATION/ NAME=us2;
        SERVICE=UNIFORM(15, 30);
        TRANSIT=OUT;
/STATION/ NAME=us3;
        SERVICE=UNIFORM(15, 30);
        TRANSIT=OUT;
/STATION/ NAME=us4;
        SERVICE=UNIFORM(15, 30);
        TRANSIT=OUT;
/CONTROL/ TMAX=480;
/EXEC/ SIMUL;
/END/
```

Tableau 4.18 : Modèle QNAP2 de la zone de transit

Résultats QNAP2 de la zone de transit

Les résultats fournis par le modèle QNAP2 de la zone de transit dans le tableau 4.19 représentent les ressources de moyens de transport (bac, pa, repas, linge, cal, cams) ainsi que les services ou unités de soins (us1, us2, us3, us4). On remarque qu'il y a une forte utilisation des moyens de transport ce que explique que les ressources personnel sont très occupes.

```
*** SIMULATION *** TIME =          480.00
*****************************************************************
*   NAME    *  SERVICE * BUSY PCT *  CUST NB * RESPONSE *  SERV NB*
*****************************************************************
*bac        * 7.826    * 1.000    * 1.000    * 7.826    *  61     *
*pa         * 7.539    * 1.000    * 1.000    * 7.539    *  63     *
*repas      * 7.557    * 1.000    * 1.000    * 7.557    *  63     *
*linge      * 7.407    * 1.000    * 1.000    * 7.407    *  64     *
*cal        * 7.292    * 1.000    * 1.000    * 7.292    *  65     *
*cams       * 7.568    * 1.000    * 1.000    * 7.568    *  63     *
*us1        * 25.10    *0.9734    * 41.30    * 199.3    *  18     *
*us2        * 21.80    *0.9866    * 36.06    * 195.1    *  21     *
*us3        * 22.39    *0.9889    * 33.08    * 204.9    *  21     *
*us4        * 21.24    *0.9853    * 36.80    * 172.7    *  22     *
*****************************************************************
```

Tableau 4.19 : Résultats du modèle QNAP2 de la zone de transit

4. Comparaison entre Les outils utilisés

Nous essayons de faire une liste des éléments positifs et négatifs de chaque outil utilisé au niveau de modélisation (ARIS et VISIO) ainsi qu'au niveau de simulation (SIMULA, QNAP2 et Witness). Enfin on dresse pour chaque pôle les résultats des simulations effectuées par les trois outils de simulation et nous essayons de faire des remarques sur ces résultats.

4.1. Comparaison entre ARIS et VISIO

Les deux outils de modélisation utilisés dans notre thèse nous aboutissent à des résultats chacun à ces propres caractéristiques :

Pour l'outil ARIS :
- Pas de modélisation de données
- Modélisation des fonctions et événements
- Définition de l'organisation
- Modélisation par processus
- Inexistence de passage automatique vers un modèle d'action

Pour l'outil Visio :
- Modélisation de données
- Modélisation de l'activité
- Définition de l'organisation
- Modélisation statique et dynamique
- Possibilité de modélisation des règles de gestion
- Possibilité de passage automatique vers un modèle d'action

4.2. Comparaison entre SIMULA, QNAP2, Witness

Les trois outils de simulation utilisés dans notre thèse ont chacun des caractéristiques propres :

Pour SIMULA :
- Langage transaction
- Donne des résultats sur le taux d'utilisation et les temps d'attentes
- Simulation temporelle

Pour QNAP2 :
- Langage station
- Simulation temporelle
- Utilisé généralement pour faire la validation des modèles de simulation

Pour Witness :
- Langage transaction
- Interface graphique
- Simulation temporelle
- Possibilité de voir les résultats de simulation en temps réel
- Donne des résultats pas évidents
- Utilise des éléments (article, ressource, stocks, machines, …)

Pour comparer les résultats obtenu entre les outils de simulation nous avons tracé un tableau figurant les ressources pour chaque pôle (imagerie et logistique) plus les résultats de simulation réalisés pour chaque outil (SIMULA, QNAP2 et Witness) :

Pôle imagerie :

Ressources	Sec S	Sec W	Sec Q	RA S	RA W	RA Q	EA S	EA W	EA Q
Taux d'utilisation	36.00	32.7	40.58	68.98	74.3	84.05	80.00	95.7	88.61

Ressources	RP S	RP W	RP Q	S S	S W	S Q	EP S	EP W	EP Q
Taux d'utilisation	96.41	98.30	90.74	63.99	97.2	65.80	92.68	54.4	94.60

S : SIMULA ; W : Witness ; Q : QNAP2

Tableau 4.20 : comparaison des résultats du pôle imagerie

Remarques :

- Il n'y a pas un grand écart pour la ressource secrétaire entre les trois outils, la valeur fournie par QNAP2 est plus élevée car il y a 3 fois plus d'examen EP.
- Les résultats sont divers pour les autres ressources Witness donne des résultats moyens en RA élevés en EA et RP et faible en EP. Le faible nombre d'évènements explique la disparité des résultats. Il faudrait déterminer des intervalles de confiance pour affiner l'analyse.

Brancardage :

Ce tableau reprèsente le taux d'utilisation des ressources brancardiers BR ainsi que les ressources de transports FT. Sachant que l'intervalle de confiance des brancardiers est de : **0.7178+-0.0247 .**

Ressources	BR S	BR W	BR Q	FT S	FT W	FT Q
Taux d'utilisation	81.50	74.10	100	97.54	100	90.49

Tableau 4.21 : comparaison des résultats du service brancardage

Remarques :

- Peu d'écart entre SIMULA et Witness et grand pour QNAP2

Zone de transit :

Les ressources personnels du service pole logistique sont reprèsentès par P, les ressources de transport utilisès sont CL : chariot linge, CR : chariot repas, NV : navette, R : roller. On remarque que le taux d'utilisation des personnels en QNAP2 quand il y a 100% c'est une source ou une ressourc saturée.

Ressources	CL S	CL W	CL Q	P S	P W	P Q	CR S	CR W	CR Q
Taux d'utilisation	14.06	?	100 ?	58.49	60.23	100 ?	12.42	?	100 ?

Ressources	NV S	NV W	NV Q	R S	R W	R Q
Taux d'utilisation	25.54	?	100 ?	23.86	?	100 ?

Tableau 4.22 : comparaison des résultats du pôle logistique

5. Conclusion

En conclusion, l'évaluation des performances par simulation de tels systèmes s'effectue au moyen de modèles. La méthodologie employée préconise la construction successive et itérative de deux modèles : le modèle de connaissance (formalisation de la structure et du fonctionnement du système) et le modèle d'action (modèles de simulation dans notre cas Witness, QNAP2 et SIMULA). La mise en œuvre fournit des résultats et il nous reste à expliquer ce qu'il faut faire pour améliorer certains services. Ce travail est validé par l'étude de deux pôles de l'hôpital (pôle logistique et pôle imagerie). Enfin on peut dire que nous avons construit un outil d'aide à la décision qui permettra aux décideurs de l'hôpital d'évaluer et de dimensionner les deux pôles étudiés.

CONCLUSION
&
PERSPECTIVES

CONCLUSION & PERSPECTIVES

Notre travail contribue à éclaircir la recherche dans le domaine des systèmes hospitaliers qui est dans sa structure complexe, vu le grand nombre d'entité qu'ils possèdent ainsi que la communication entre ses entités. Nous avons vu au cours de cette étude de 3 ans de thèse appliquer une méthodologie développer au sein de notre laboratoire et qui est utilisé pour divers domaine (trafic urbain, administration, …) afin d'atteindre les objectifs définit auparavant.
Dans ce travail nous avons abordé une problématique au centre des préoccupations actuelles des hôpitaux : la modélisation et la simulation de la logistique ainsi que le pôle imagerie. Nous avons pu au cours de notre travail modélisé ses deux grand pôle de l'hôpital en utilisant des données paramétrées que l'expert peut rentré ses données et voir l'impact sur les autres services. Par exemple peut prévoir à l'aide de notre logiciel de simulation le nombre d'utilisateurs qui peuvent exercer une fonction quelconque, ainsi que le taux d'utilisation de ses utilisateurs, la même chose pour le matériel utilisé pour effectuer une mission. En outre nous avons eu pour chaque pôle des résultats de simulation en Witness, QNAP2 et SIMULA.
Dans le pôle imagerie, Nous avons présenté le pôle imagerie et l'utilité du modèle de connaissance spécifié avec l'outil ARIS, ainsi que le passage de ce modèle vers un modèle d'action ou de simulation implanté en SIMULA ou avec Witness. L'outil d'aide à la décision, réalisé avec la classe Gpsss, nous a fourni des résultats sur le taux d'utilisation des salles et des radiologues du pôle imagerie ainsi que les temps d'attentes des patients. L'utilisation de Witness apporte une interface graphique avec animation 2D simple des articles dans chaque service, compensées par une évaluation de piètre qualité. Les perspectives dans ce pôle portent d'une part sur la collecte et l'analyse de données fiables et détaillées concernant l'ancien hôpital et d'autre part la prise en compte des politiques spécifiques de planification des rendez-vous ainsi que la modélisation des sites hors des salles du pôle imagerie et surtout l'étude de politiques de mutualisation des ressources matérielles et humaines.
Dans le service zone de transit, Le modèle en SIMULA et celui en Witness fournissent des résultats semblables. Le taux d'utilisation des ressources et moyennement faible pour un effectif de 4 personnes. Nous attendons des estimations de données statistiques plus réalistes pour le NHE. En perspective, il s'agit de généraliser ce modèle de simulation à l'ensemble des 39 unités de soins du NHE et de tester de nouvelles politiques managériales.
Dans le service brancardage, Nous avons présenté une méthodologie de modélisation et simulation logistiques d'hôpital. SIMULA est au commencement employé pour le but de validation d'autres modèles de simulation mais il est plus efficace et précis pour modeler des ressources, stocke, retarde et pour fournir des statistiques appropriées que le TÉMOIN. Les premiers modèles traitent l'étude d'état d'équilibre du brancardage et les niveaux critiques de ses ressources. Ils seront prolongés pour inclure tous les types et modes de mission, aspects passagers tels qu'une charge de travail variable, pauses de l'ambulancier, durées du traitement et réponse de secours. Une deuxième étape consiste en mission programmant, vide des voyages réduisant et dans l'essai de la politique du nouvel ambulancier.

Dans le chapitre 1, nous avons montré les techniques de résolution utilisées pour résoudre les problèmes posés par les systèmes hospitaliers comme l'affectation et l'allocation ou l'ordonnancement des ressources se regroupent, en deux grandes familles. D'une part celles qui cherchent une solution optimale, et d'autre part celles qui cherchent une solution approchée. Ces dernières constituent une alternative très intéressante pour traiter les problèmes d'optimisation de grande taille si l'optimalité n'est pas primordiale. Elles offrent, en un temps raisonnable, de bonnes solutions. Elles utilisent dans la plupart des cas des heuristiques spécifiques à un problème.

Dans le chapitre 2, nous avons vu un état de l'art décomposé en sept sections : dans la première section nous avons discuté sur les systèmes hospitaliers (dimensionnement et allocation des ressources, la logistique hospitalière, système d'information hospitalier) et les différents travaux réalisés au cours de ces dernières années dans le groupe GISEH. Ce groupe s'intéresse à la logistique hospitalière, l'ordonnancement des blocs opératoires, la modélisation et la simulation des systèmes hospitaliers ainsi qu'à l'organisation et la planification des systèmes hospitaliers. Donc le groupe GISEH touche vraiment a notre problématique concernant la logistique, la modélisation et la simulation des systèmes hospitaliers.

Dans la deuxième section de l'état de l'art nous avons définit la notion de système et sa relation avec un système hospitalier, ainsi nous avons présenté l'ancien hôpital (AH) de Clermont-Ferrand que nous avons effectué notre étude et le projet du nouvel hôpital (NH) et la mise en place des pôles, en conséquence nous avons définit chaque pôle du (NH). Enfin nous avons montré nos objectifs à atteindre dans ce nouveau projet.

Dans la troisième section, nous avons définit la notion de modélisation et ses différentes approches, et parmi ses approches nous avons retenue celle orientée objet et processus pour construire le modèle de connaissance du (NH) avec l'outil ARIS pour les sous systèmes logique et physique, par contre pour le sous système décisionnel nous avons utilisé UML est particulièrement le digramme d'activité.

Dans la quatrième section, nous avons présenté les différents environnements de modélisation utilisés dans le milieu industriel. Nous allons inspirer de ses environnement pour construire notre environnement de modélisation propre a notre langage de simulation (QNAP2, SIMULA et WITNESS), pour cela allons utiliser celui de RESQME qui est un peu similaire à nos besoins.

Dans la cinquième section, nous avons présenté l'approche de modélisation utilisée dans notre projet de thèse qui est le système hospitalier ; nous avons expliqué que pour construire des modèles de simulation il faut s'appuyer sur le modèle de connaissance qui est décomposé en trois sous systèmes (logique, physique et décisionnel) les informations extraites sont utilisées pour réaliser un modèle d'action a l'aide d'un langage de simulation ou de programmation. Enfin les critères de performances évalués sont structurés en un modèle de résultats.

Dans la sixième section, la simulation occupe une place très importante comme outil d'aide à la conception, l'analyse, la formation, la planification, l'évaluation des performances ou de la sûreté de fonctionnement et, en général, au niveau de presque tous les processus de prise de décision. Dans cette section, nous avons introduit les concepts de base de la simulation en gardant dans l'esprit le domaine d'application des systèmes hospitaliers. Nous avons souligné les caractéristiques principales des différentes techniques de simulation et nous avons présenté avec un peu plus de détail, la méthode de simulation à événements discrets. Dans les travaux de recherche que nous présentons par la suite, nous avons utilisé une approche orientée événement et une progression par événements. Cette méthode est souvent plus efficace et plus souple du point de vue du développement des outils de simulation. Si la simulation possède un ensemble d'avantages incontestés, il n'est pas moins vrai qu'il s'agit d'un processus délicat dont une partie non négligeable du succès est liée à l'expertise du responsable de l'expérience. Pour mener à bien tel processus de simulation, il est nécessaire :

- de suivre, dans la mesure des possibilités, les recommandations des méthodologies de simulation comme celle introduite dans ce chapitre ;
- de posséder des compétences en probabilité et statistique;
- de connaître et de bien comprendre le système à étudier ;
- de pouvoir formuler les objectifs attendus sans ambiguïté ;
- d'identifier l'interaction entre le système et son environnement ;
- de connaître les différents outils de simulation disponibles, afin de pouvoir sélectionner le mieux adapté au travail à réaliser.

Dans le domaine des systèmes hospitaliers, la simulation est l'outil privilégié pour réaliser des études d'évaluation des performances. Ceci est dû à la complexité toujours croissante de ce type de système ainsi qu'à la disponibilité –aussi croissante– d'outils de simulation de bonne qualité. Nous avons présenté un très modeste échantillon d'outils de simulation comme Witness, Simula et QNAP2.

Dans la dernière section de l'état de l'art, nous avons montré l'intérêt de faire l'analyse des résultats après la simulation et cela en utilisant l'estimation de l'intervalle de confiance afin d'analyser le système et voir ce qu'il faut faire pour l'améliorer et le rendre plus performant.

Dans le chapitre 3, l'évaluation des performances par simulation de tels systèmes s'effectue au moyen de modèles. La méthodologie employée préconise la construction successive et itérative de deux modèles : le modèle de connaissance (formalisation de la structure et du fonctionnement du système) et le modèle d'action (modèle de simulation dans notre cas Witness, QNAP2 et SIMULA). Après nous pouvons tirer des résultats et expliquer ce qu'il faut faire pour améliorer certains services. Nous avons présenté les techniques de passage de modèle de connaissance vers le modèle d'action, ainsi l'utilisation de modèle de réseau de files d'attente et le passage vers le modèle d'action. Ces techniques de passage se sont que des propositions. Ce travail est validé par l'étude de deux pôles de l'hôpital (pôle logistique et pôle imagerie).

Dans le chapitre 4, nous avons montré l'utilité de compléter le modèle de connaissance ARIS par le modèle de classe afin de passer vers le modèle d'action ou de simulation Witness, QNAP2 et SIMULA. Nous avons appliqué les propositions citées dans le chapitre 3 et l'implémenter dans le (NH) et cela sur deux pôles (imagerie et la logistique), sachant que le choix de ces deux pôles a été imposé par l'hôpital.

PERSPECTIVES

En perspective, plusieurs thèmes de recherches peuvent induire de ce travail :

- La tarification de l'activité de tous les pôles de l'hôpital.
- La simulation des autres pôles de l'hôpital.
- Étudier la planification des pôles de l'hôpital.
- Étudier l'ordonnancement des blocs opératoires.
- Le pilotage des systèmes hospitaliers.
- Étudier les systèmes multi agents dans le milieu hospitalier.

BIBLIOGRAPHIES

BIBLIOGRAPHIES

[Abiteboul, 1987] Abiteboul S.,Hull R. «IFO: A formal semantic data base model», ACM Transaction on data base systems, vol 12, n°4, December 1987, pp525-565.
[Abouaissa, 2002] Abouaissa H., Nicolas J., Benasser A. «Causal Phases Protocol for Group Communication Systems» ACM, Juin 2002, 36(3):67-81.
[Aggrawal, 1989] Aggrawal A., Gordon R.F. «Animating simulations in RESQME». In proceedings of the 1989 Winter simulation conference, Washington, December 1989, pp612-620.
[Anantharaman et al., 2001] Anantharaman V., Swee Han L. «Hospital and emergency ambulance link using IT to enhance emergency pre-hospital care», 2001, 10(2): 105-110. 19.
[Antonio et al., 1999] Antonio J. Chauvet F. «The cutting stock with mixed objectives (two heuristics based on dynamic programming», European journal of operational research, 114; 395-402.
[Aptel, 2000] Aptel O. «Le rôle de la logistique dans la connaissance du niveau des stocks» 3ème RIRL, Trois-Rivières, Canada, 2000.
[Arliaud et al., 2000] Arliaud M. et Roblet M. «Réformes du système de santé et devenir du corps médical», sociologie du travail, 1, 42,91-112.
[Artiba et al., 1998] Artiba A., Martinelly C., Vissers J. «Patient flow based allocation of inpatient resources», European Journal of Operation Research, 1998, 105, 356-370.
[Artiba et al., 2004] Artiba A., Briquet M. «Modélisation d'établissement de santé», GISEH Mons Belgique 2004.
[Artigues et al., 2002] Artigues C. Roubellat F. «Pilotage d'atelier basé sur un ordonnancement flexible». GISEH, Mons Belgique 2004.
[Baboli et al., 2003] Baboli A., Guinet A., Hassan T., Brandon M., Charpiat B., Leboucher G. «Identification des flux de la logistique pharmaceutique d'un hôpital public», GISEH 1ère conférence francophone en gestion et ingénierie des système hospitaliers 2003, Hôpital de la Croix – Rousse, Lyon, 17 et 18 janvier 2003. P. 392.
[Backus, 1960] Backus J. W. «Report on the Algorithmic Language» ALGOL 1960.
[Baker, 1974] Baker K.R. «Introduction to sequence and scheduling», European journal of research, New York 1974.
[Bancroft, 1996] Bancroft N. «Implementing SAP R/3, manning publications», Greenwich.
[Benanteur et al., 2000] Benanteur Y., Rollinger R., Saillour J.-L. «L'organisation logistique et technique à l'hôpital», Éditions ENSP, 185p.
[Beuscart, 1998] Beuscart R. «Travail coopératif et réseau. Informatique et santé», 10,3-10.
[Bertalanffy, 1973] Bertalanffy L. «Théorie générale des systèmes», Dunod 1973.
[Bhaskaran, 1998] Bhaskaran S. «Simulation of a manufacturing supply chain». Decision science vol. 29.
[Biteau, 2003] Biteau R., Biteau S. «La maîtrise des flux industriels», Éditions d'Organisation, 2003.
[Biron, 1991] Biron B. «Générateur de simulateurs pour l'aide à la conduite d'ateliers d'assemblage», Proceedings sur les actions de recherche en robotique et productique (A2RP), Paris, 15-16 Janvier 1991, pp 597-609.
[Blazewicz et al., 1986] Blazewicz M., Draboski M., Welglarz J. «Scheduling multiprocessor tasks to minimize schedule length». IEEE Trans. Comput. 35. (**1986**) 389-393.
[Booch, 1999] Booch G., Rumbourg J., and Jacobson Y. «The UML guide. Addisson Wesley», 1999.
[Bouvier, 2004] Bouvier A. «Management et sciences cognitives», Collection : Que sais-je?, Editeur-Edition : PUF, 2004.

[Botta et al., 1996] Botta V. «Planning and scheduling flow shops organisations with constraints» (These Lyon).
[Brams, 1983] Brams G.W. «Réseaux de Petri : théorie et pratique». Ed Masson, Paris, 1983.
[Breugnot et al., 1990] Breugnot D., Gourgand M., Kellert P. «SIGMA: an intelligent and graphical environment for modelling of flexible assembly systems», In proceedings of the European simulation symposium, GHENT Belgique, 8-10 November 1990, PP 225-230.
[Brock, 2002] Brock D.L. «Smart medecine: the application of auto-ID technology to healthcare».
[Bulter et al., 1996] Butler T.W., Keong, L.G., Everet, L.N. «The operations management role in hospital strategic planning». Journal of Operations Management, 1996, vol 14, pp. 137-56.
[Chaabane, 2002] Chaabane S., Marcon E., Smolsky N., Luqet B. Viale J. «Sratégies de gestion de Brancardage au bloc opératoire», conférence Lyon DAQUAR (démarche d'assurance qualité en anesthésie) Lyon 26 avril 2002.
[Chabrol et al., 2005] Chabrol M., Féniès P., Gourgand M., et Tchernev N. «Un environnement de modélisation pour le système d'information de la supply chain», Application au Nouvel Hôpital d'Estaing.
[Chandra et al., 1994] Chandra P., and Fisher M.L. «Coordination of production and distribution planning», European journal of operational research 72, 503-517, 1994.
[Chauvet et al., 2005a] Chauves J., Dessommes N., Durand N., et Quinkal A. «Un modèle de connaissance pour le nouvel hôpital d'Estaing». DESS management, Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand, mars 2005.
[Chauvet et al., 2005b] Chauvet J., Féniès P., Chabrol M., Gourgand M. «The new Hospital of Estaing Knowledge Model: an operational tool for strategic management and flow modelling in a hospital supply chain, International», Conference on the Management of Healthcare & Medical Technology, Aalborg, Denmark.
[Chen, 1976] Chen P. «The entity relationship model - Toward a unified view of data», ACM Transaction on data base system. Vol 1, N° 1 mars 1976.
[Clergue, 1999] Clergue F. «Gestion du bloc opératoire», informations cliniques en anesthésie réanimation, 93-12 .
[Clymer, 1990A] Clymer J.R. «System analysis using simulation and Markov Models», Prentice Hall, 1990.
[Clymer, 1990B] Clymer J.R., Corey P.D., Nili N. «Operationnal evaluation modelling Simulation», vol 55, n°6, décembre 1990, pp327-336.
[Clymer, 1991] Clymer J.R., Hernandez D. «OPEM distributed simulation. Simulation», vol 57, n°6, Décembre 1991, pp395-404.
[Colin, 2002] Colin J. «De la maîtrise des opérations logistiques au supply chain management». Gestion 2000, 1, 59-74.
[Collen, 1974] Collen M.F. «Hospital Computer Systems». New York: John Wiley & Sons, 1974.
[Combes, 1994] Combes C. «Un environnement de modélisation pour les systèmes hospitaliers», Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascale de Clermont Ferrand, 27 Octobre 1994.
[Conway et al., 1967] Conway R.W., Maxwell W.L., Miller L.W. «Theory of scheduling, Addison-Wesley publishing company», Avril 1967.
[Davis et al., 1989] Davis J.P, Bonnel R.D. «Modelling semantics with concept abstraction in EA-RL data model. Proceeding of entity-relationship approach», November 1989, pp102-117.
[De Rosnay, 1975] De Rosnay J. «Le macroscope: vers une vision globale», Paris: Seuil.

[De Vries et al., 1998] De Vries T., Beekman R.E. «Applying simple dynamic modelling for decision support in planning regional health care». European Journal of Operational Research, 1998, vol 105, pp. 277-84.
[Dexter et al., 2002] Dexter F., and Epstein R.H. «Manual of operating room management decision making», dept anesthesie.
[Djebabra et al., 2003] Djebabra M., Bendada L., Bennoui N. «Capacité des réseaux de Petri pour l'analyse et la modélisation des systèmes de production», p. 1-13, CPI'2003, Meknes, Maroc 22, 23 & 24 octobre 2003.
[Doheny et al., 1996] Doheny J.G., and Fraser J.L. «MOBEDIC A Decision Modelling Tool for Emergency Situations. Expert Systems with Applications», vol. 10, No. 1, pp. 17-27.
[Drucker, 1998] Drucker M. «A propos du management. Paris: Village Mondial», 2000. 222 p.
[Dussauchoy et al., 1999] Dussauchoy A., Combes C., Gouin F., Botti F. «Gestion du bloc opératoire», informations cliniques en anesthésie-réanimation, 93-12 .
[Faure et al., 2003] Faure S., Dr Vermeulun B., Wieser P. «Modélisation et réingénierie des systèmes hospitaliers», In 1st conférence francophone en Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH), Lyon.
[Féniès et al., 2004] Féniès P., Tchrnev N. «Une contribution à la mesure de la performance dans la supply chain hospitalière : L'exemple du processus opératoire», GISEH 2004.
[Giard, 2003] Giard V. «Gestion de la production et des flux». Ed. Economica, 2003.
[Guerin, 1984] Guérin G. «Organisation des activités de planification des ressources humaines dans les entreprises Québécoises», Gestion, Vol. 9, N° 1 et 2, Février et Avril 1984, PP. 28-36 et PP. 36-43.
[Guinet, 1998] Guinet A. «Reduction of job-shop problems to flow-shop problems with precedence constraints», European Journal of Operational Research, Vol. 109, N° 1, pp. 96-110, 1998.
[Ginkel et al., 2000] Ginkel M., Kremling A., Trankle F., Zeitz M., and Gilles E.D. «Application of the process modelling tool prompts to the modelling of metabolic networks». In I. Troch and F. Breitenecker, editors, IMACS Symposium on Mathematical Modelling, volume 2, pages 525–528, Vienna, Austria, 2000. ARGESIM.
[Gonzales-Martinez, 1997] Gonzales-Martinez P. «An automatic resource scheduling system (ARSS)». Computers & Industrial Engineering, 1997, vol 33, pp. 295-8.
[Gordon et al., 1991] Gordon K.J., Kurose J.F., Macnair E.A. «An extensible visual environment for construction and analysis of hierarchically-structured models of resource contention systems», Management science, vol 37, n°6, June 1991, pp714-732.
[Goujon, 1997] Goujon J.Y. «Un environnement de modélisation multi-agents pour la spécification et l'évaluation des performances des systèmes industriels de production», Doctorat en informatique. Université de Clermont-Ferrand-1997-France.
[Gourgand, 1984] Gourgand M. «Outils logiciels pour l'évaluation des performances des systèmes informatiques». Thèse d'état Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II-1984.
[Gourgand et al., 1991] Gourgand M., Kellert P. «Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production», 3ème congrès international de génie industriel, Tours.
[Gourgand et al., 1994] Gourgand M., Kellert P. «Methodology based on SADT-SLAM II coupling for the design of flexible manufacturing systems», SCS European simulation multiconference, Barcelona, Spain, June 1-3, 1994.
[Gourgand et al., 2005] Gourgand M., Mebrek F., and Tanguy A. «Hospital logistic modelling and simulation case study: brancardage», ESM05, Porto, Portugal, 24-26 October 2005.
[Gourgand et al., 2006a] Gourgand M., Mebrek F., and Tanguy A. «Modélisation et simulation de la zone de transit d'un nouvel hôpital», GISEH 2006, Luxembourg, 2006.

[Gourgand et al. 2006b] Gourgand M., F. Mebrek et A. Tanguy, 2006. «Modelling methodology and simulation of a hospital laundry». ESM'2006, October 23-25, Toulouse, France.
[Gourgand et al., 2007] Gourgand M., Mebrek F., and Tanguy A. «Modelling and simulation of the pharmacy of a new hospital», , ECMS, Prague, 2007.
[Green et al., 2000] Green P., Roseman M. «Modelling: An ontological evaluation In information systems», ated process, vol 25.
[Hadges et al., 2003] Hadges P., Bellou A., Grandhaye J-P., Bayad M. «Modélisation de la prise en charge des patients du service des urgences», In 1st conférence francophone en Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH), Lyon.
[Hately et al., 1987] Hatley D.J., Pirbhai I.A. «Strategy of real time specification». Doset House Publishing Co, New York, Conférence.July 1988.
[Hill, 1993A] Hill D. «Méthodes et outils logiciels de modélisation par objets pour la simulation et l'animation de systèmes complexes», Thèse de Doctorat Université Blaise Pascal Clermont Ferrand II-1993-France.
[Ids Sheer, 2001] «ARIS - Business Process Modelling». Springer 2001.
[Jebaili et al., 2001] Jebaili A., Ladet P., Hadj Alouane A., Sava A.T. «Sur la synthèse de la commande des SEDT», GISEH, Mons Belgique 2004.
[Kellert, 1992] Kellert P. «Définition et mise en oeuvre d'une méthodologie orientée objets pour la modélisation des systèmes de production», Actes du congrès INFORSID 92-Clermont-Ferrand-1992-pp.415-436.
[Kharraja et al., 1996] S.Kharraja, E.Marcon. A.Guinet, S.Chaabane. Botta-Genoulaz, V 1996. «Planninig and scheduling flow shops organisations with Constraints». These Lyon.
[Lagergren, 1998] Lagergren M. What is the role and contribution of models to management and research in the health services? A view from Europe. European Journal of Operational Research, 1998, vol 105, pp. 257-66.
[Lane, 1990] Lane G.M. «Hierarchical simulation of a flow line for printed circuit board fabrication using ISI-the intelligent simulation interface», In proceedings of the 1990 European simulation symposium, November 8-10 1990, Ghent, Belgium, pp 215-219.
[Lapierre, 1999a] Lapierre S. «Bed allocation techniques based on census data. Socio-Economic Planning Sciences», 1999a, vol 33, pp. 25-38.
[Le Moigne, 1977] «La théorie du système général», Théorie de la modélisation, Paris: Col., Systèmes Décisions, Presses Universitaires de France.
[Lil, 1997] Lil l. «Relationships between Determinants of Hospital Quality Management and Service Quality Performance – a Path Analytic Model», Omega International Journal of Management Science, 1997, vol 25, pp. 535-45.
[Lissandre, 1990] Lissandre M. «Maîtriser SADT. Edition Armand Colin», 1990.
[Ljung, 1999] Ljung L. «System Identification – Theory for the user». Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey, second edition, 1999.
[Lubicz et al., 1987] Lubicz M., Mielczarek B. «Simulation modelling of emergency medical services», European Journal of Operational Research 1987, vol. 29, Issue 2, pages 178-185.
[Madic, 2001] Madic A. «Informatisation du circuit du médicament à l'hôpital : de l'intention à la réalisation», Thèse Ph. D en pharmacie. Université d'Angers octobre 2001. 183p.
[Mahe, 1986] Mahe D. «Des extensions de SADT». Génie logiciel, n°5, Juillet 1986, pp57-61.
[Marty, 2003] Marty J. «Organisation- Qualité- Gestion du risqué en anesthésie-réanimation», Paris: Masson, 2003. 321 p.
[Mebrek et al., 2006a] Mebrek F., Tanguy A. «Modélisation et simulation à événements discrets du pôle imagerie du nouvel hôpital d'Estaing», MOSIM, 2006, Rabat Maroc.

[Mebrek et al., 2006b] Mebrek F., Tanguy A., Gourgand M. «Modélisation et simulation de la restauration pour le nouvel hôpital d'Estaing», LT Tunisie, 2006.
[Mebrek et al., 2007] Mebrek F., Belkadi K., Gourgand M., and Tanguy A. «Modélisation et simulation de la stérilisation externe d'un nouvel hôpital», , COSI Oran, Algérie, 2007.
[Mellor et al., 1985] Mellor S., Ward P. «Structured development for real time systems», Yourdon Press, Printice Hall, New York, 1985.
[Mintzberg, 1990] Mintzberg H. «Le management, Voyage au centre des organisations», Paris», Les editions d'organisation, 1990.
[Moisdon et al., 1999] Moisdon J.C., Tonneau, D. «La démarche gestionnaire à l'hôpital». Paris: Seli Arslan, 1999. 254 p.
[Moreno et al., 1996] Moreno L., Aguilar R. M., Piñeiro J. D., Estévez J. I., Sigut J. F. and González C. «Using KADS methodology in a simulation assisted knowledge based system: application to hospital management», Expert Systems with Applications, vol. 10, No. 1, pp. 17-27.
[Mélèze, 1972] «L'analyse modulaire des systèmes de gestion», A.M.S., Puteaux, France: Editions hommes et techniques.
[Nance et al., 1981] Nance R.E., and Overstreet C.M. «Simulation model management: resolving the technical graps», In proceedings of the 1981 winter simulation conference pages 173-179, 1981.
[Navas et al., 2004] Navas J. F., Arteta C., Hadjes P. S., Jiménez F. «Construction et simulation d'un modèle de flux de patients dans le service d'urgences d'un hôpital colombien», In 2e conférence francophone en Gestion et Ingénierie de Systèmes Hospitaliers (GISEH), Mons.
[Nolan et al., 1991] Nolan P.J., Lane G.M., Fegan J.M. «ISI-An environment for the engineering use of general purpose simulation languages», Simulation, vol 56, n°1, janvier 1991, pp 41-47.
[Ozden, 1990] Ozden M.H. «Automatic programming of simulation models in an object-oriented environment», ESM 90, Modelling and simulation, edited by B.Schmidt, Nuremberg, 10.
[Pelletier et al., 1992] Pelletier G., Grenier S., Guérin N., Drapeau C. «Planification stratégique des ressources humaines. État de la situation et perspective d'avenir. Québec (Canada), Mai 1992.
[Pascal et al., 2000] Pascal C. «Gérer les processus à l'hôpital : une réponse à la difficulté de faire ensemble», Science de Gestion. Lyon : Université Jean Moulin Lyon III, 2000. 475 p.
[Pegden et al., 1990] C.D. Pegden, RE. Shannon, R.P. Sadowski. «Introduction to simulation using SIMAN», Edition McGraw Hill, 1990.
[Pierreval, 1987] Pierreval H. «Analyse, modélisation et simulation des systèmes de production ; application au cas d'une fonderie», Thèse de troisième cycle, université Claude Bernard, Lyon I, Mai 1987.
[Pierreval, 1989] Pierreval H. «Modélisation et simulation de processus industriel. Etude d'un cas utilisant un langage de simulation et un système basé sur les règles de production», RAI.R.O. APII, vol 23, n°1, pp17-34.
[Pritsker, 1986] Pritsker A. «Introduction to simulation and SLAM II», Third edition, Halsted Press, New York; and systems Publishing Corp, West Lafayette, Indiana, 1986.
[Ramis et al., 2001] Ramis F.J., Palma, et al., 2001 «The use of simulation for process improvement at an ambulatory», European journal of operational surgery centre proceedings of the 2001 winter simulation conference, 2001, PP.1404-4.
[Rapid Data, 1991] Rapid Data S., Saint S. «And animation simulation Software», Crescent House, Worthing, West Sussex, BN115RW, United Kingdom.

[Rochereau, 2001] Rochereau C. «Vers une organisation maximale», Société Française d'Anesthésie Réanimation, 2001, vol 9.
[Romeryer, 2000] Romeryer C. «Les systèmes d'information hospitalièrs, vecteurs de changement organisationnel : vers l'émergence d'un système d'information traçant l'activité», 5éme Colloque de l'Association Information et Management, 2000.
[Rotondi, 1997] Rotondi S. «Benchmarking the prioperative Process . Patient Routing Systems: A Method for Continual Improvement of Patient Flow and Resource Utilization», Journal of Clinical Anaesthesia, 1997, vol 9, pp. 159-69.
[Rousset, 2001] Rousset R. «Direction d'établissement et actionnariat médical». Mémoire de DESS, IFROSS: Université Jean Moulin III, 2001.
[Royston, 1998] Royston G. «Shifting the balance of health care into the 21 st century». European Journal of Operational Research, 1998, vol 105, pp. 267-76.
[Rumbaugh, 1991] Rumbaugh J., Blaha M., Eddy F., Lorensen W., Premerlani W. «Object-Oriented Modelling and design», Prentice Hall, 1991.
[Shannon, 1998] Shannon R.E. «System simulation: the art and science», Prentice-Hall.
[Soubeiga, 2003] Soubeiga E. «Development and application of hyper heuristics to personnel scheduling», PHD, Université de Nottingham, Royaume Unie, 2003.
[Sahraoui, 2002] Sahraoui M. «Méthodes d'optimisation appliquées aux systèmes de production de type Flow Shop Hybrides», Thèse de magister en informatique, encadrée par Belkadi Khaled, USTO-MB, Oran, 18 Novembre 2002.
[Salgame et al., 1990] Salgame R., Becker S.G. «SARK- a knowledge-based process modelling and simulation system», In proceedings of the summer simulation conference. Calgary, July 16-18 1990, pp1147-1156.
[Sava, 2001] Sava A.T. «Sur la synthèse de la commande des SEDT» , Thèse doctorat 2001.
[Scheer, 2002] Scheer A.W. «ARIS– Business Process Modelling, Springer», Valenzuela DT, Goldberg J., Keeley J., Criss A. «Computer modelling of emergency medical system performance», Annals of Emergency Medicine, vol. 19, Issue 8, pages 898-901.
[Schmidt, 1980] Schmidt B. «GPSS-Fortron. Edition Wiley», 1980.
[Schragenheim, 1999] Schragenheim E., «Management dilemma», Saint Lucie press 1980.
[Sheer, 2002] Sheer A. «ARIS-Business process modelling». Springer.
[Syi et al., 2003] Syi S., Chung-Liang S. «Modelling an emergency medical services system using computer simulation», International Journal of Medical Informatics, P 57-72.
[Tchommo, 2003] Tchommo J.L., Baptiste P., Soumis F. «Etude bibliographique de l'ordonnancement simultané des moyens de production et des ressources humaines», Proceedings of the fifth French-Quebec International Congress of Industrial Engineering, Quebec, Canada, 2003.
[Teil, 2000] Teil A. «Coût d'une minute de bloc opératoire et coût d'un service d'anesthésie : quelles utilisation», Actes du colloque SNPHAR, 2000, pp. 165-81.
[Teil A. 2002] Teil A. «Défit de la performances et vision partagée des acteurs. Application à la gestion hospitalière», Sciences de Gestion : Université Jean Moulin Lyon III, 2002. 414 p.
[Universalis, 2006] Universalis. «Simulation", Encyclopédie Universalis», version CDROM, 2006.
[Velin et al., 2001] Velin P., Alamir H., Babe P., Four R., Guida A. «Les horaires principaux du circuit d'un enfant aux urgences pédiatriques», Expérience de l'hôpital Lenval en 1999, Archives pédiatriques.
[Vissers, 1998] Vissers J. «Patient flow based allocation of inpatient resources: a case study», European Journal of Operational Research, , vol 105.
[Zaytoon et al., 1993] Zaytoon J., Niel E., Mille A., Jutard A. «A temporal SADT for automated manufacturing systems», FUCAM, International Conference on Industrial Engineering and production management, proceedings I, Mons, 2-4 June 1993, pp154-164.

[Zeigler, 1976] Zeigler P. «Theory of modelling and simulation». Weiley InterScience, 1976.
[Zeigler, 1989] Zeigler P. «Theory of modelling and simulation». Weiley InterScience, ISBN 0471981524, Canada1989.

ANNEXE 1
POLE IMAGERIE

1. POLE IMAGERIE

1.1. Organigramme

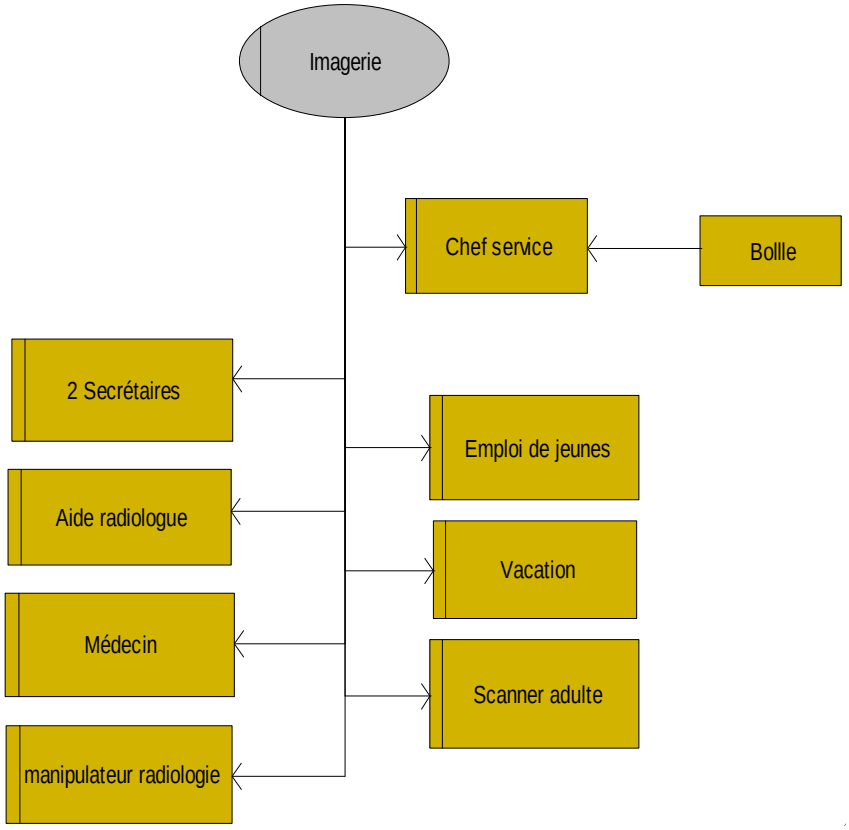


Figure 1 : Organigramme d'organisation de l'imagerie

1.2 Mouvements des services

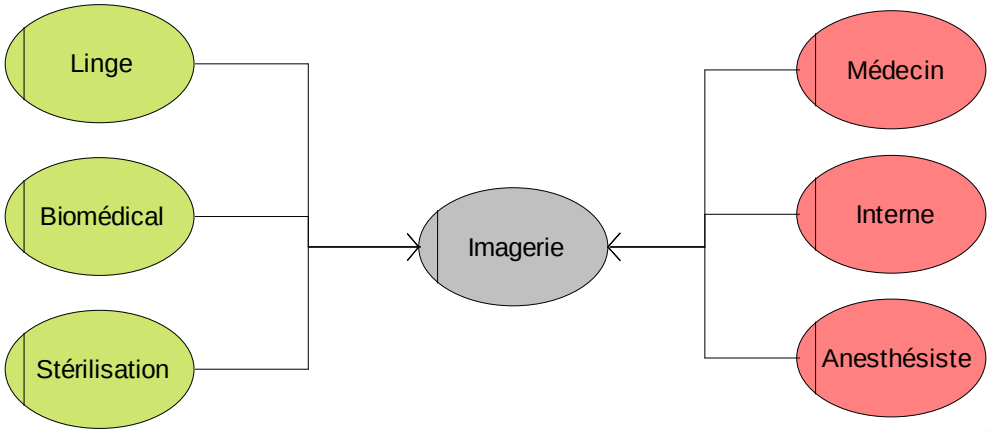


Figure 2 : Mouvements de l'imagerie

1.3. Flux internes

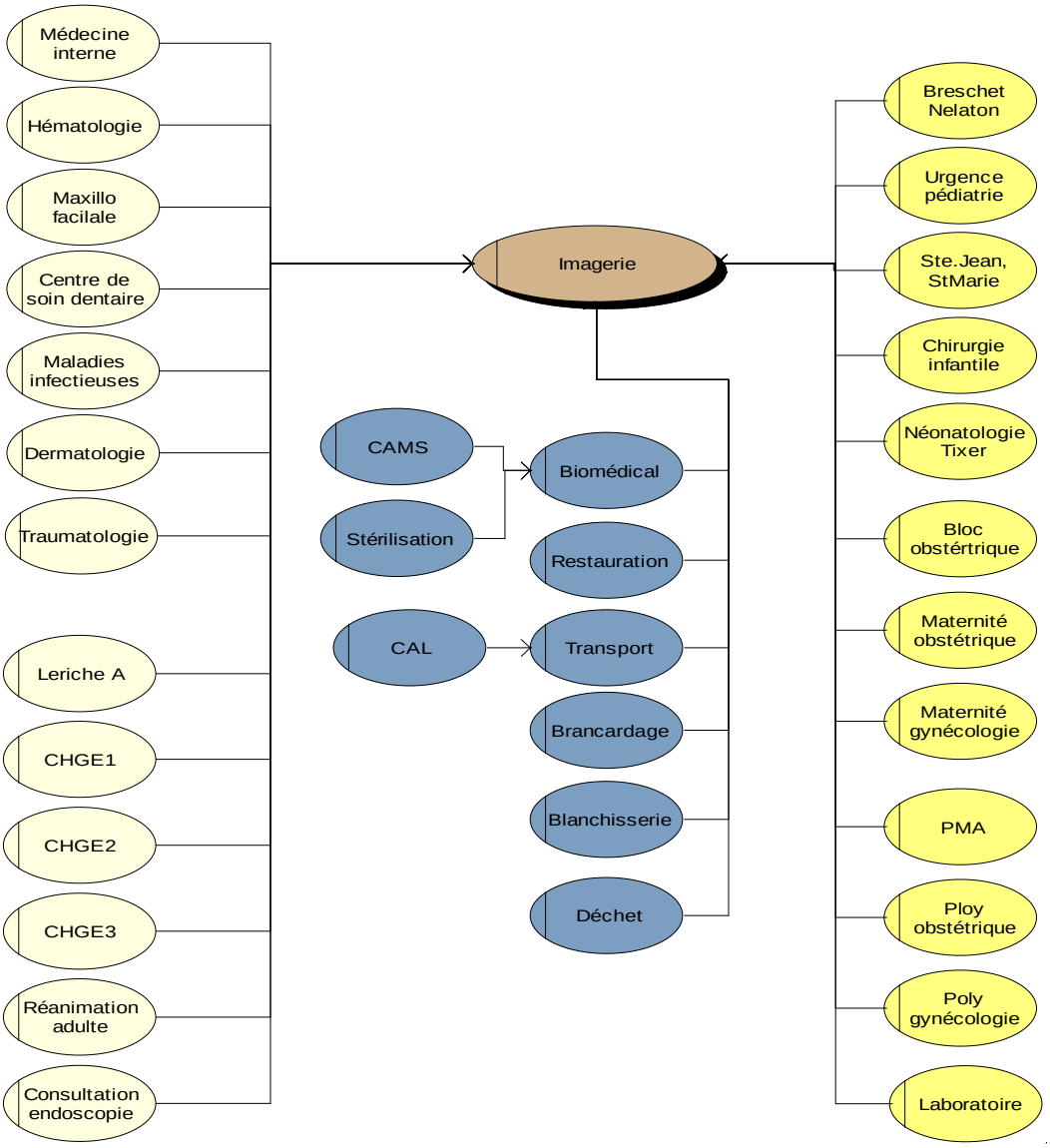


Figure 3 : Flux internes de l'imagerie

1.4. Matrice interservices

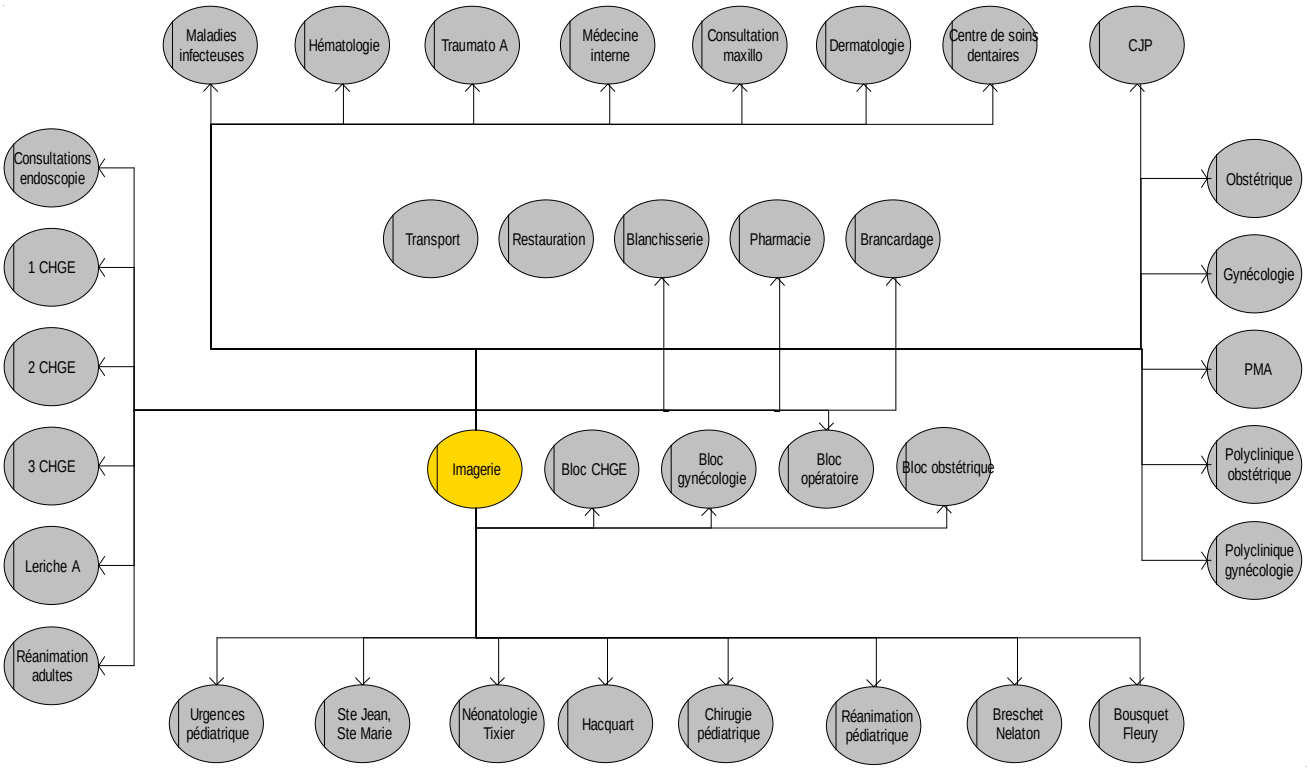


Figure 4 : Matrice interservices de l'imagerie

ANNEXE 2
POLE LOGISTIQUE

1. BRANCARDAGE

1.1 Organigramme du service brancardage

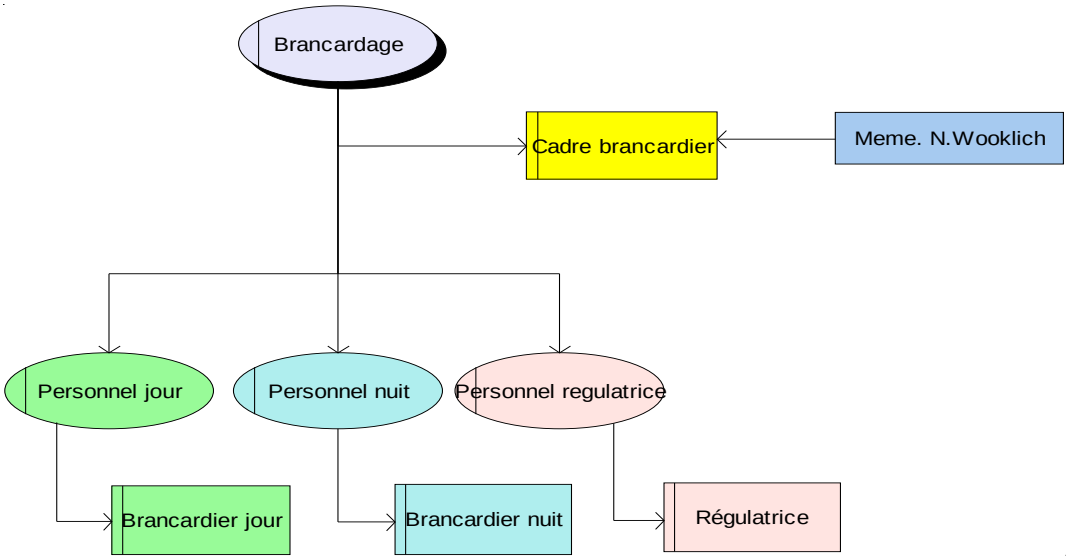


Figure 1 : Organigramme du service brancardage

1.2 Flux internes

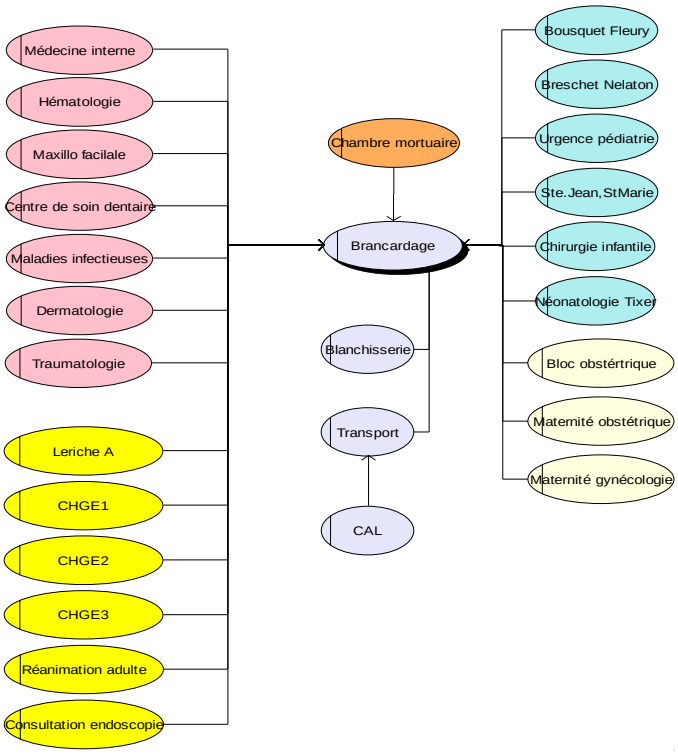


Figure 2 : Flux interne du brancardage

2. BLANCHISSERIE

2.1 Organigramme

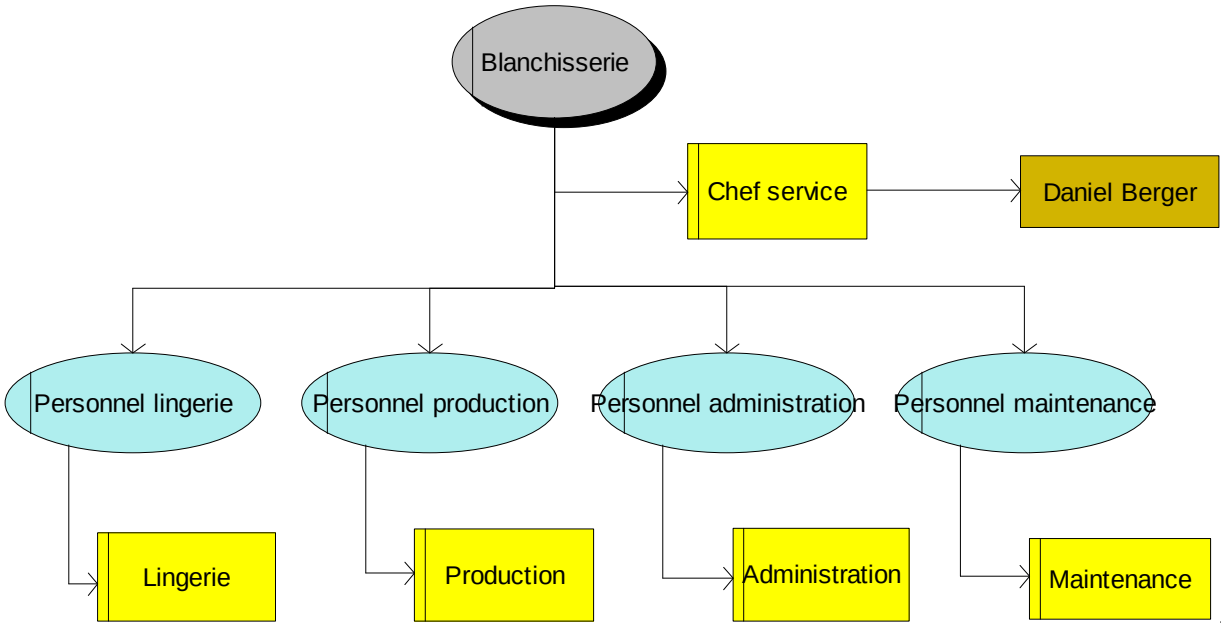


Figure 3 : Organigramme de la blanchisserie

2.2 Matrice interservices

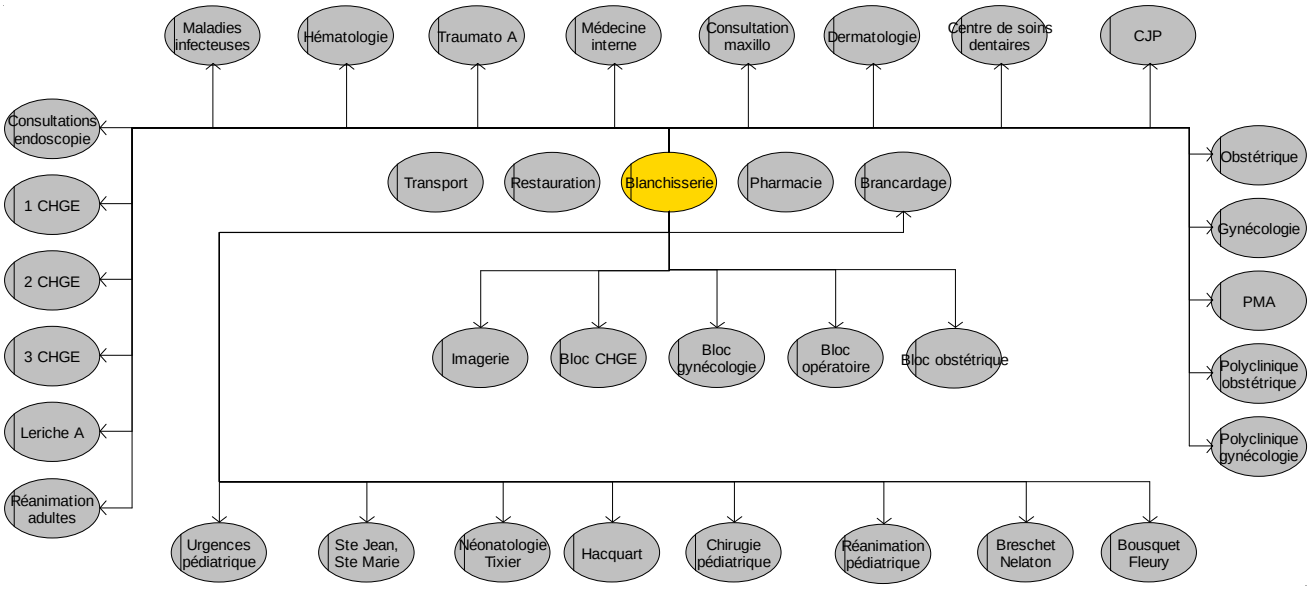


Figure 4 : Matrice de la blanchisserie

2.3 Mouvements des services

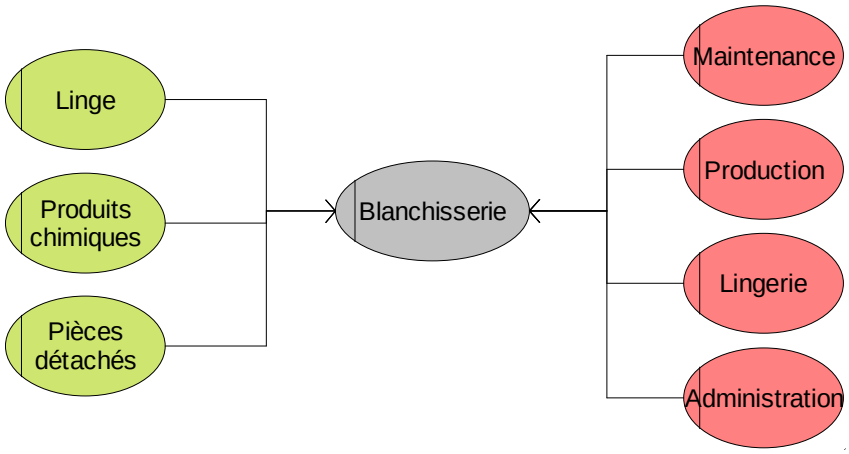


Figure 5 : Mouvements de la blanchisserie

2.4 Flux internes et externes

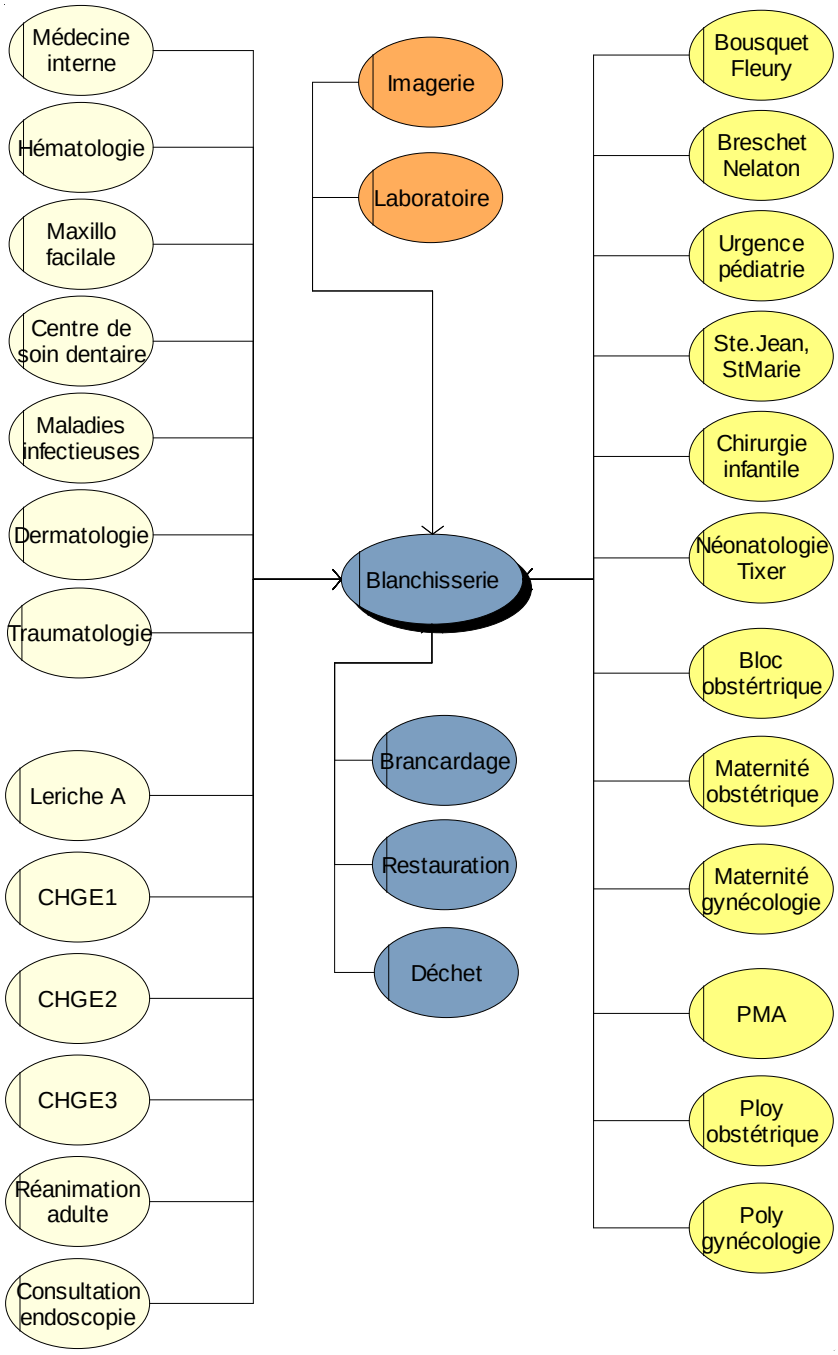


Figure 6 : Flux interne et externe de la blanchisserie

3. PHARMACIE
3.1 Matrice des services

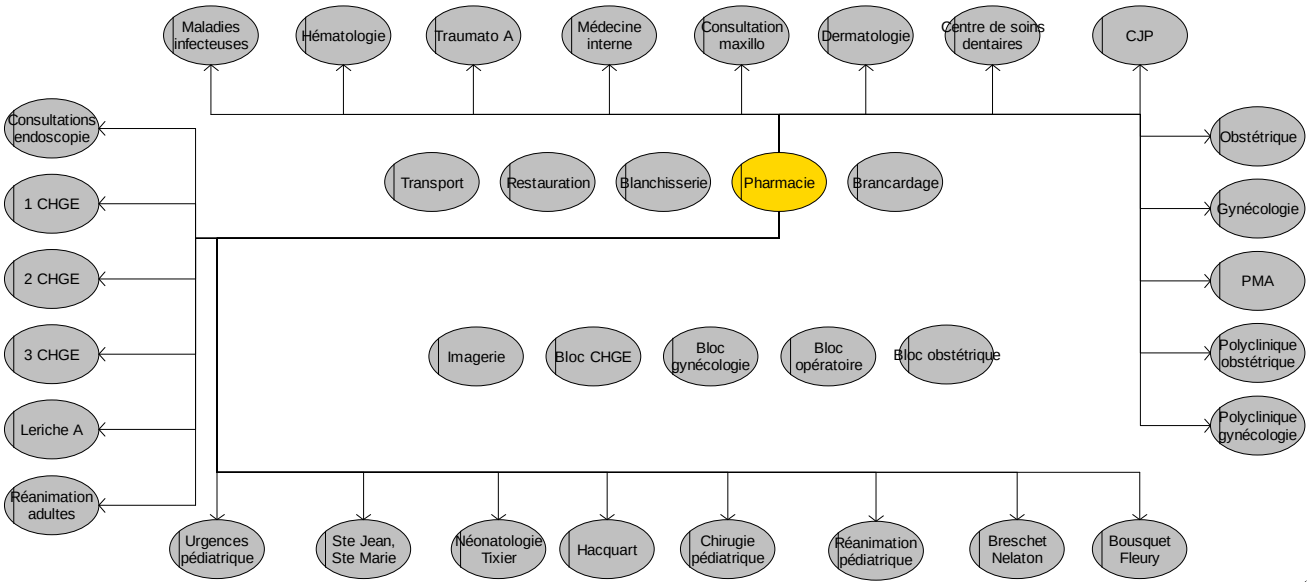


Figure 7 : Matrice de la pharmacie

3.2 Mouvement du service pharmacie

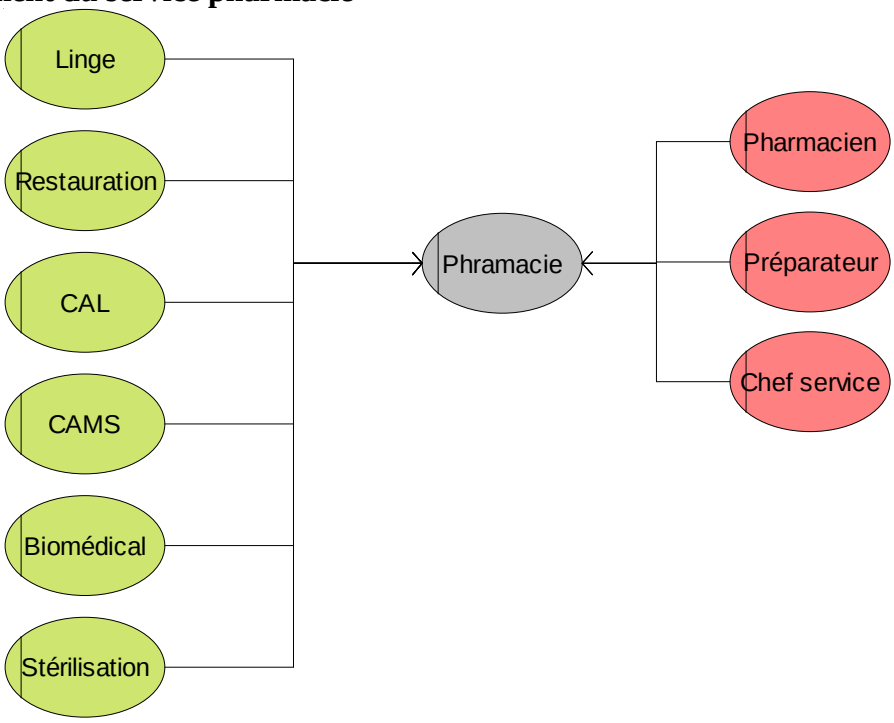


Figure 8 : Mouvements de la pharmacie

3.3 Relation entre service

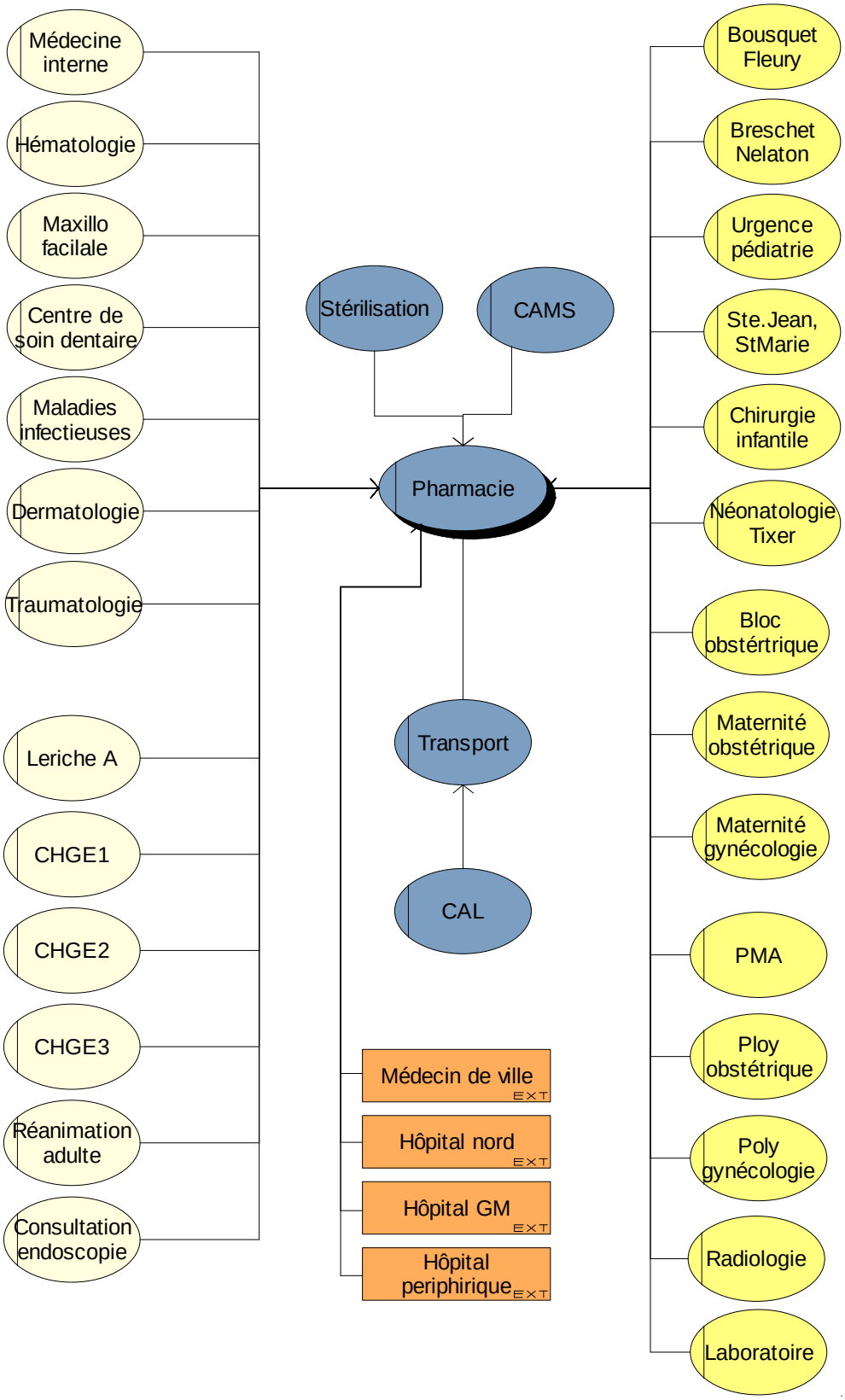


Figure 9 : Relation de la pharmacie

4. RESTAURATION

4.1 Matrice des services

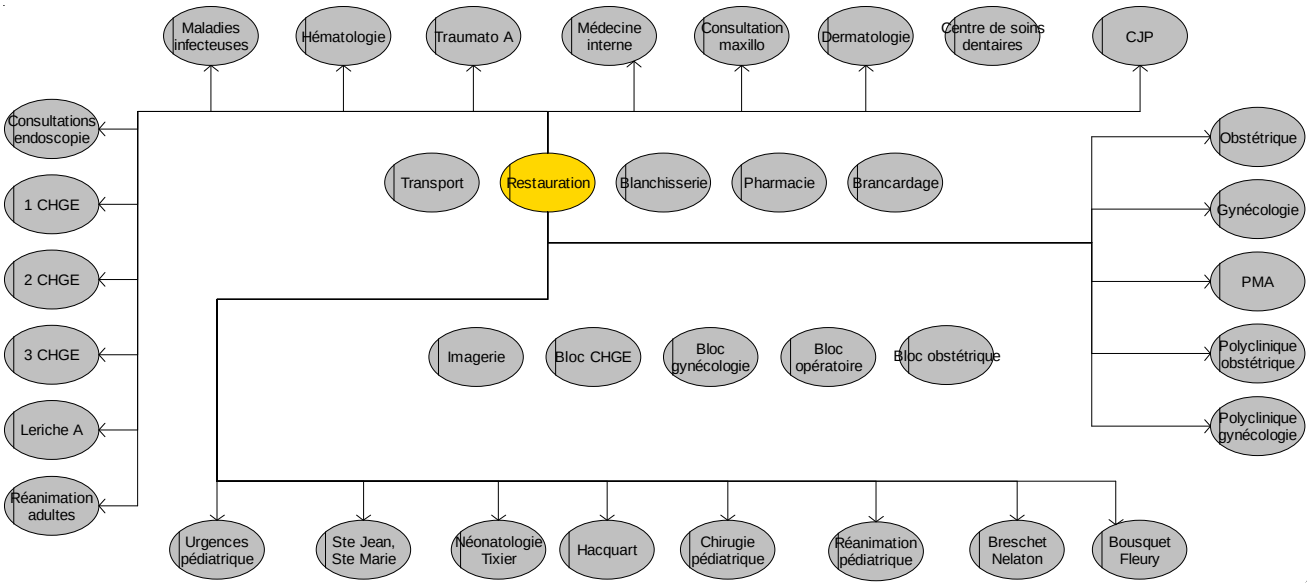


Figure 10 : Matrice de la restauration

4.2 Flux interne

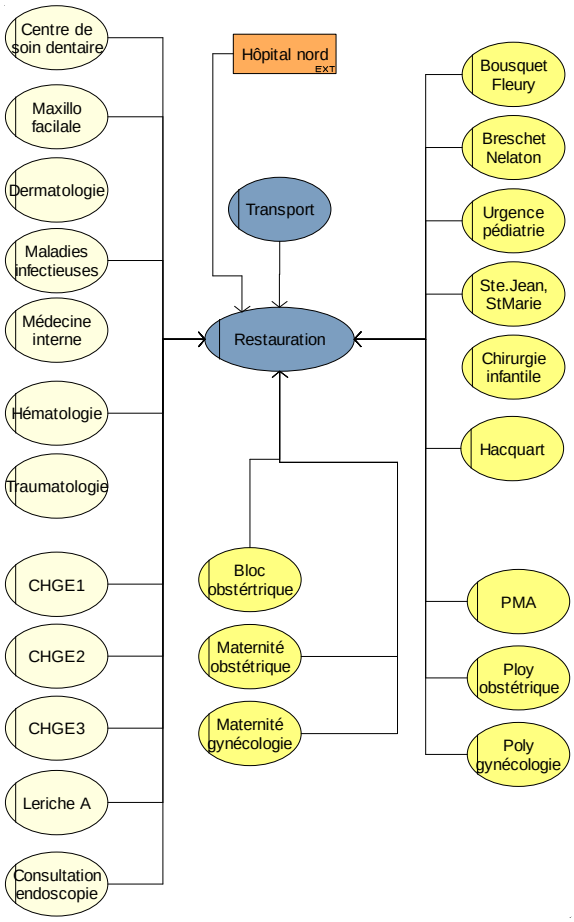


Figure 11 : Flux internes de la restauration

4.3 Mouvement des services

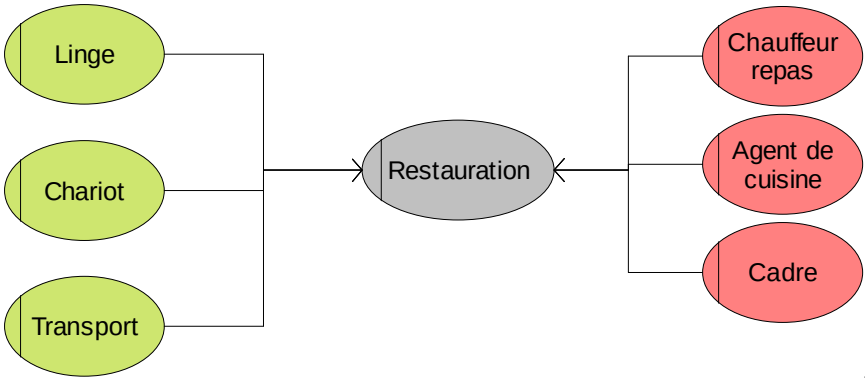


Figure 12 : Mouvements de la restauration

4.4 Organigramme

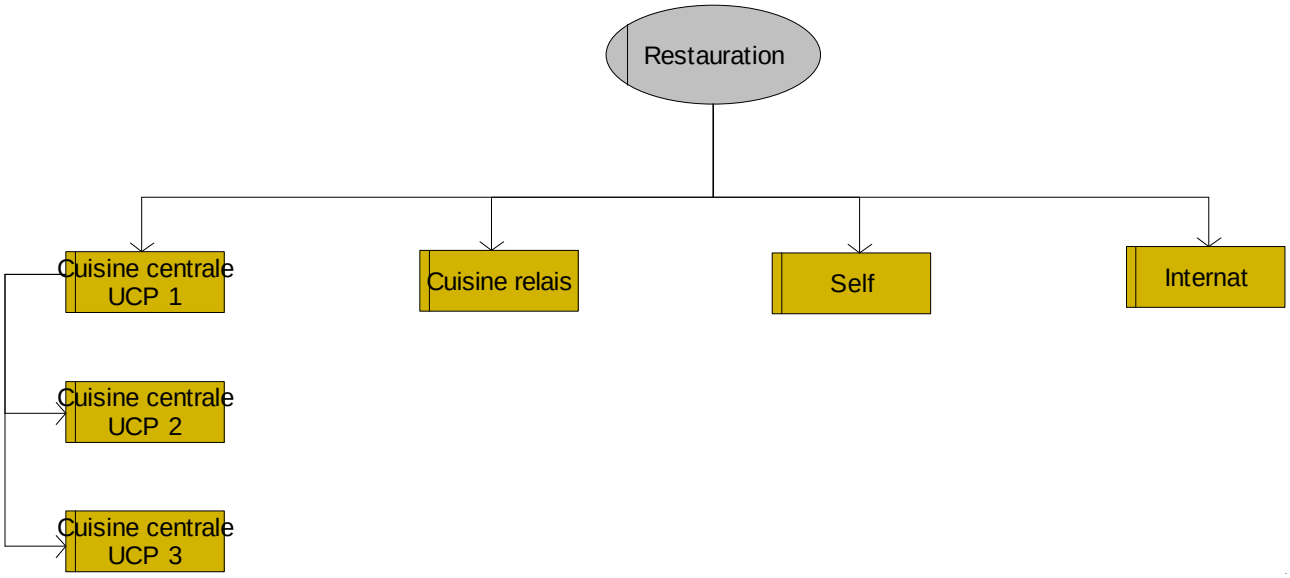


Figure 13 : Organigramme de la restauration

5. ZONE DE TRANSIT

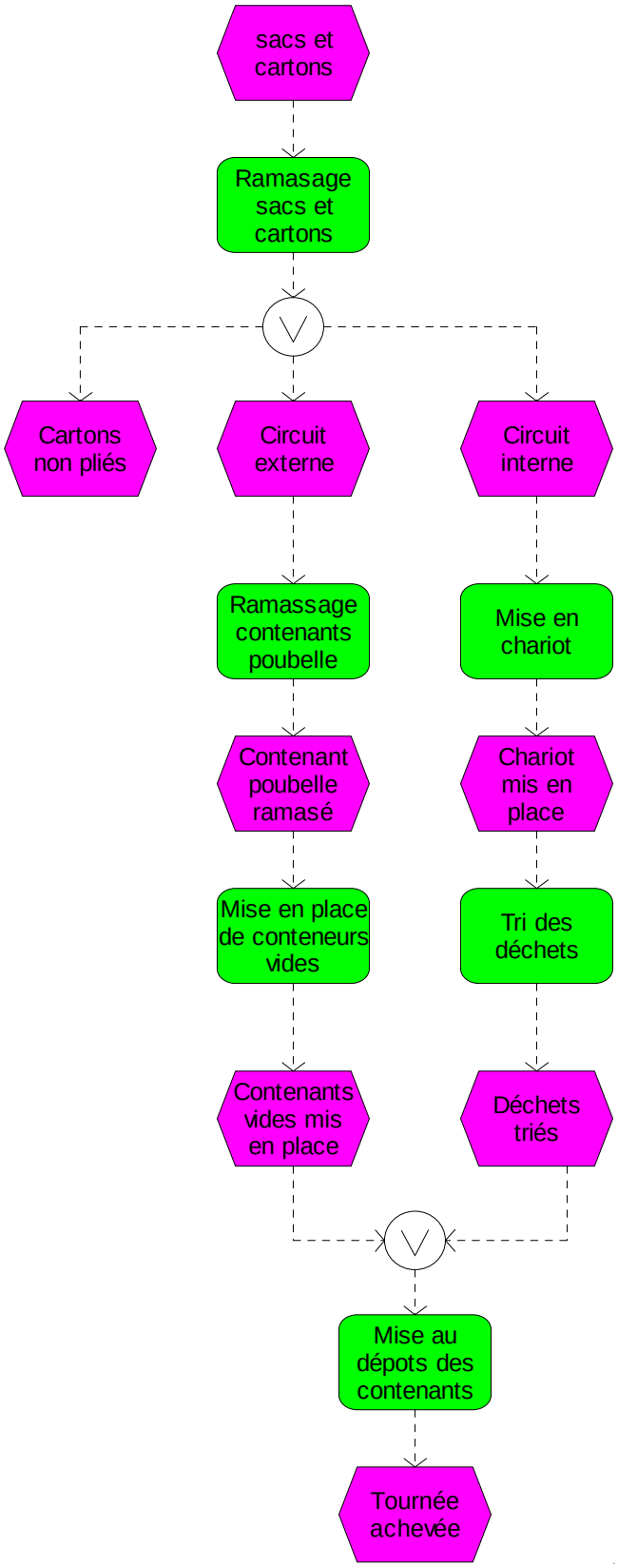


Figure 14 : Collecte déchets

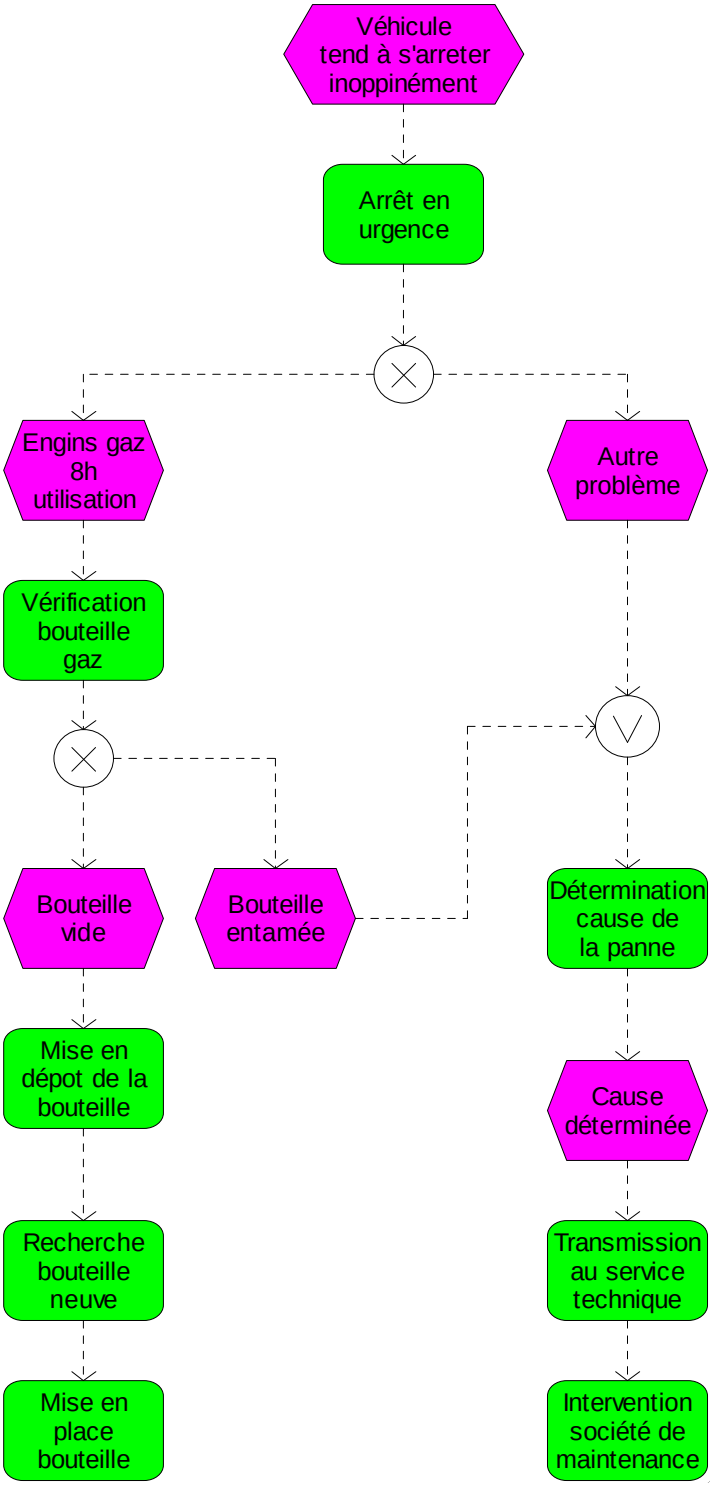


Figure 15 : Constat pannes

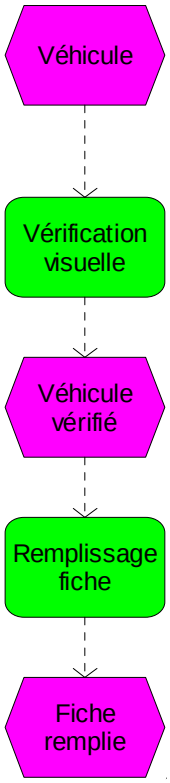


Figure 16 : Contrôle véhicule

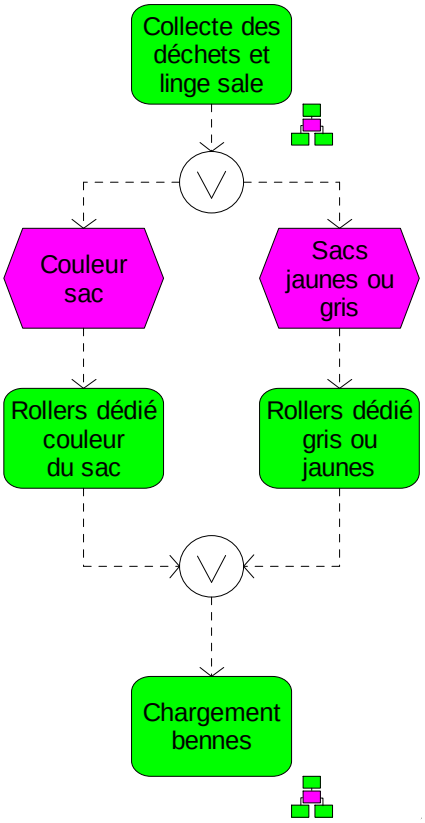


Figure 17 : Tri linge sale

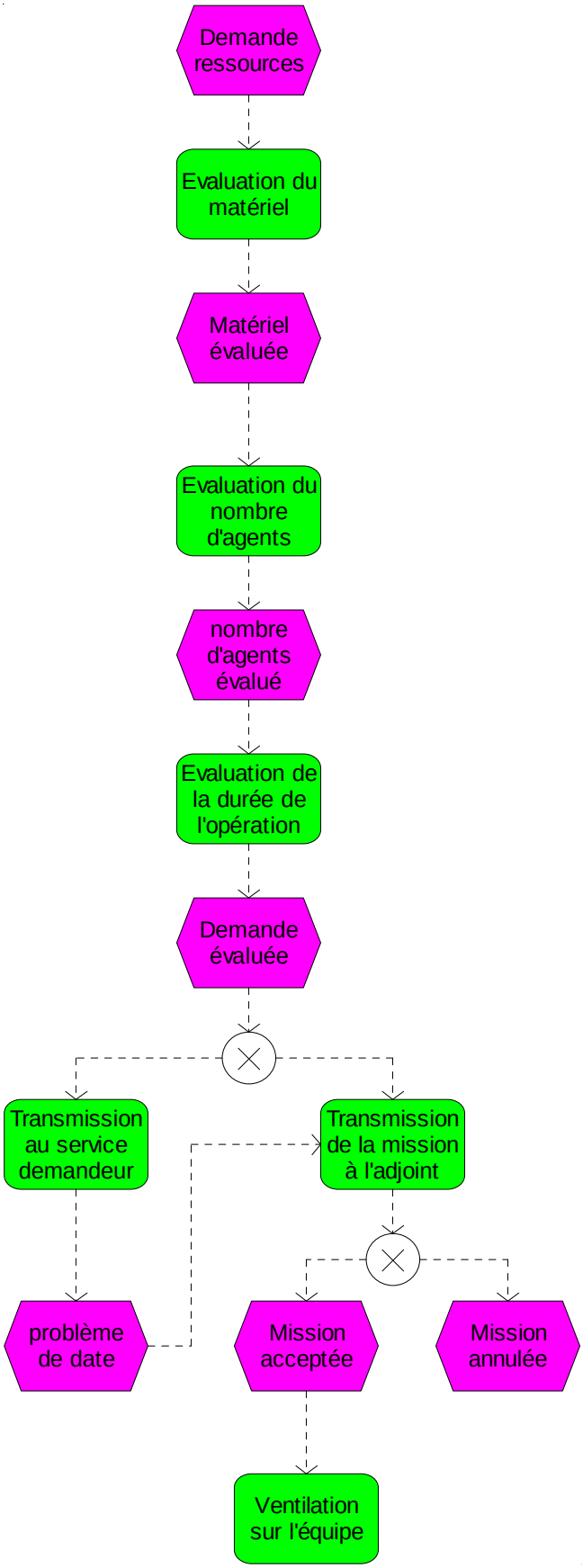


Figure 18 : Délégation de ressources

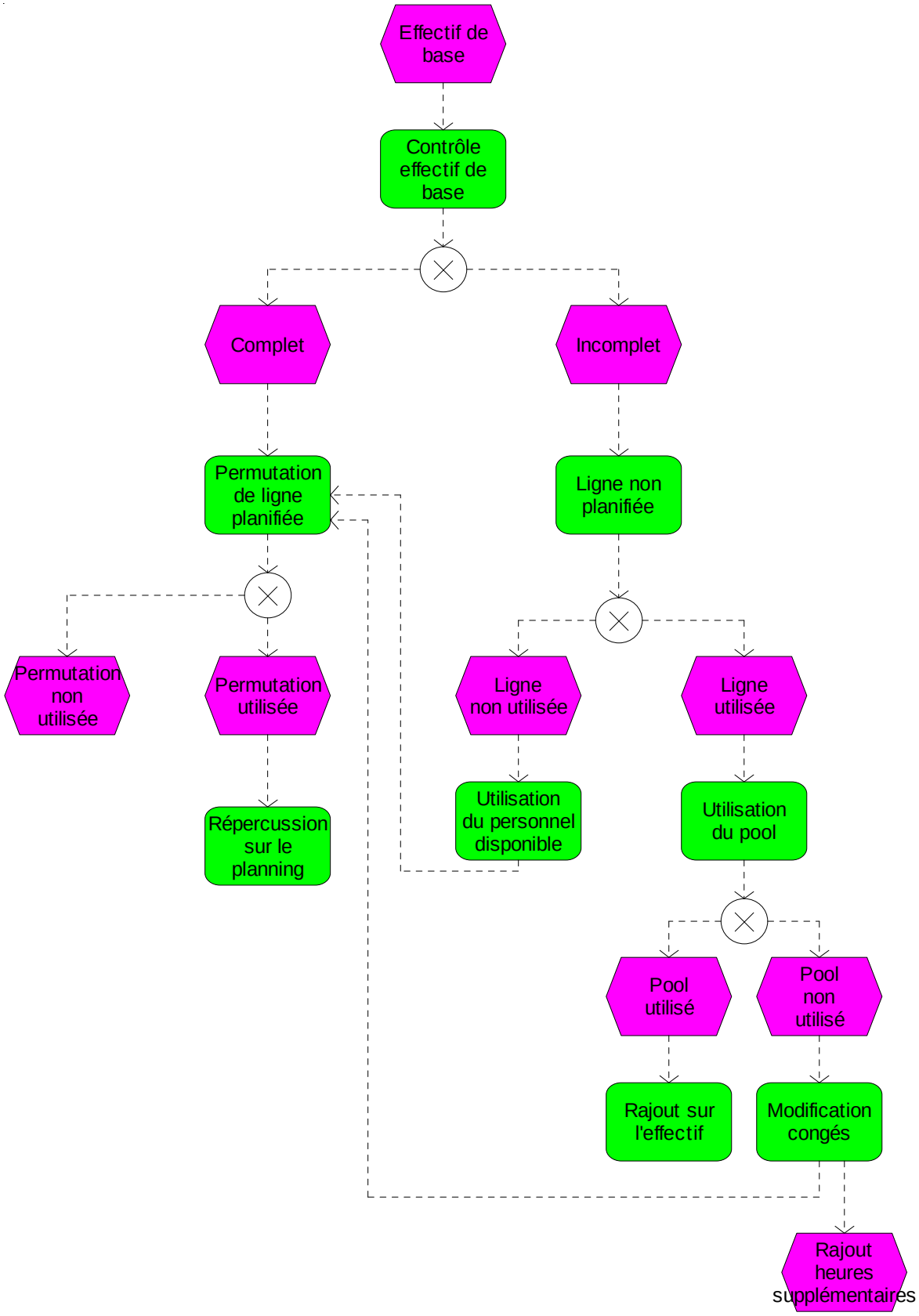


Figure 19 : Gestion planning

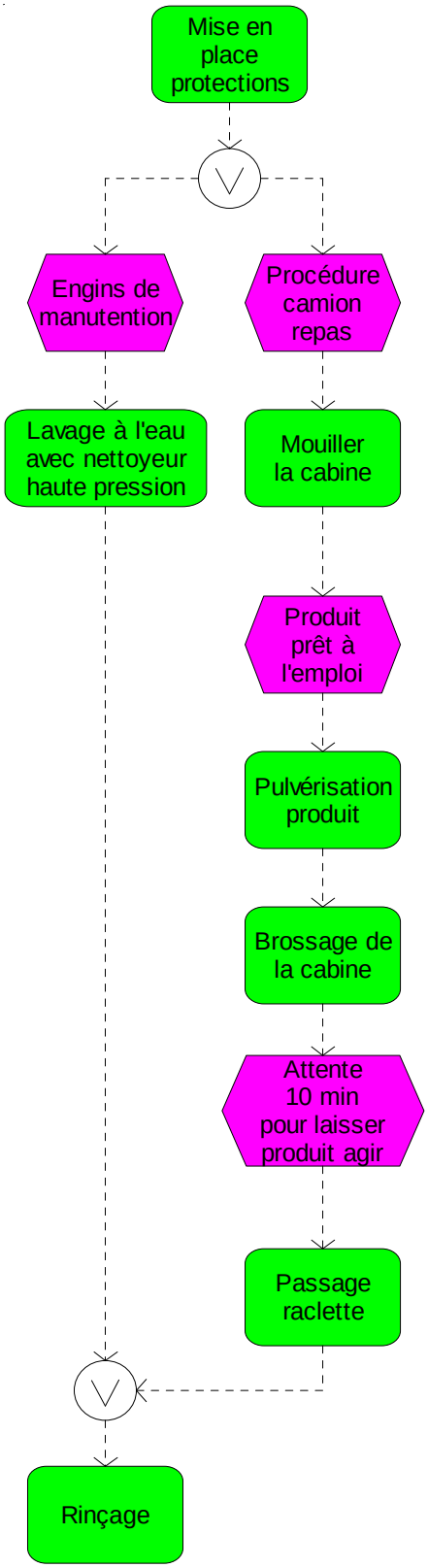


Figure 20 : Nettoyage matériel

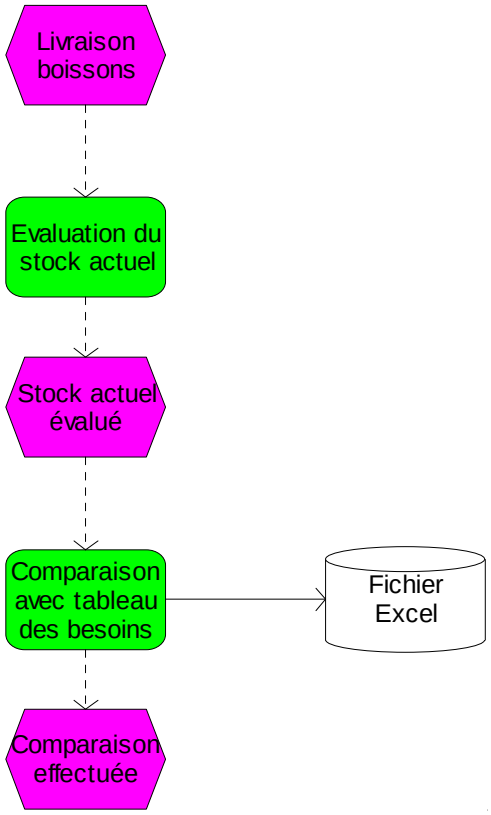


Figure 21 : Préparation boissons

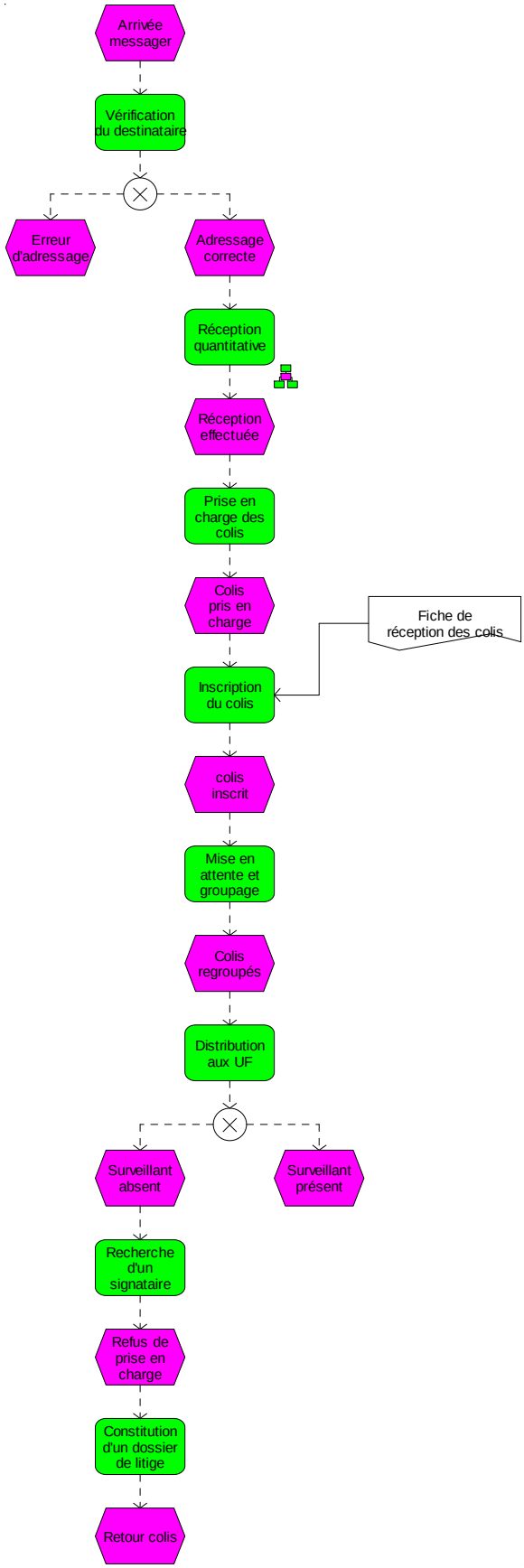


Figure 22 : Réception messagerie

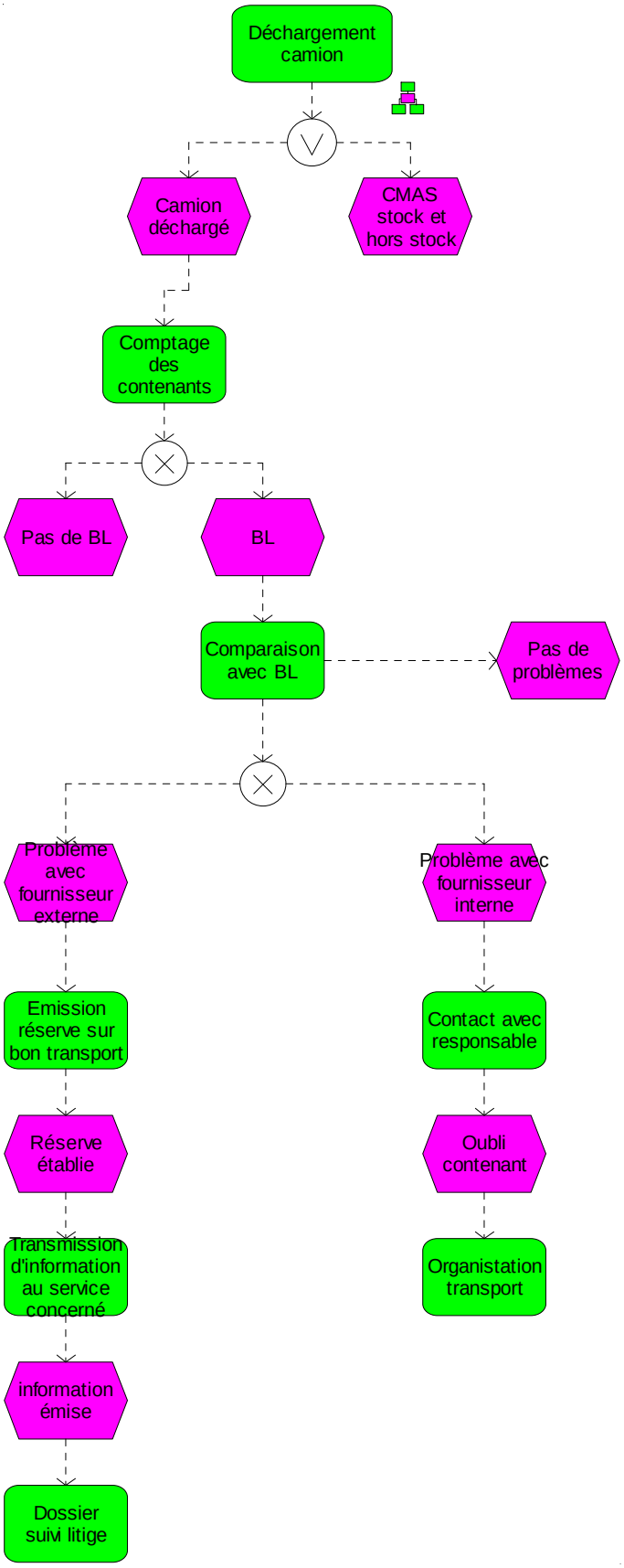


Figure 23 : Réception quantitative

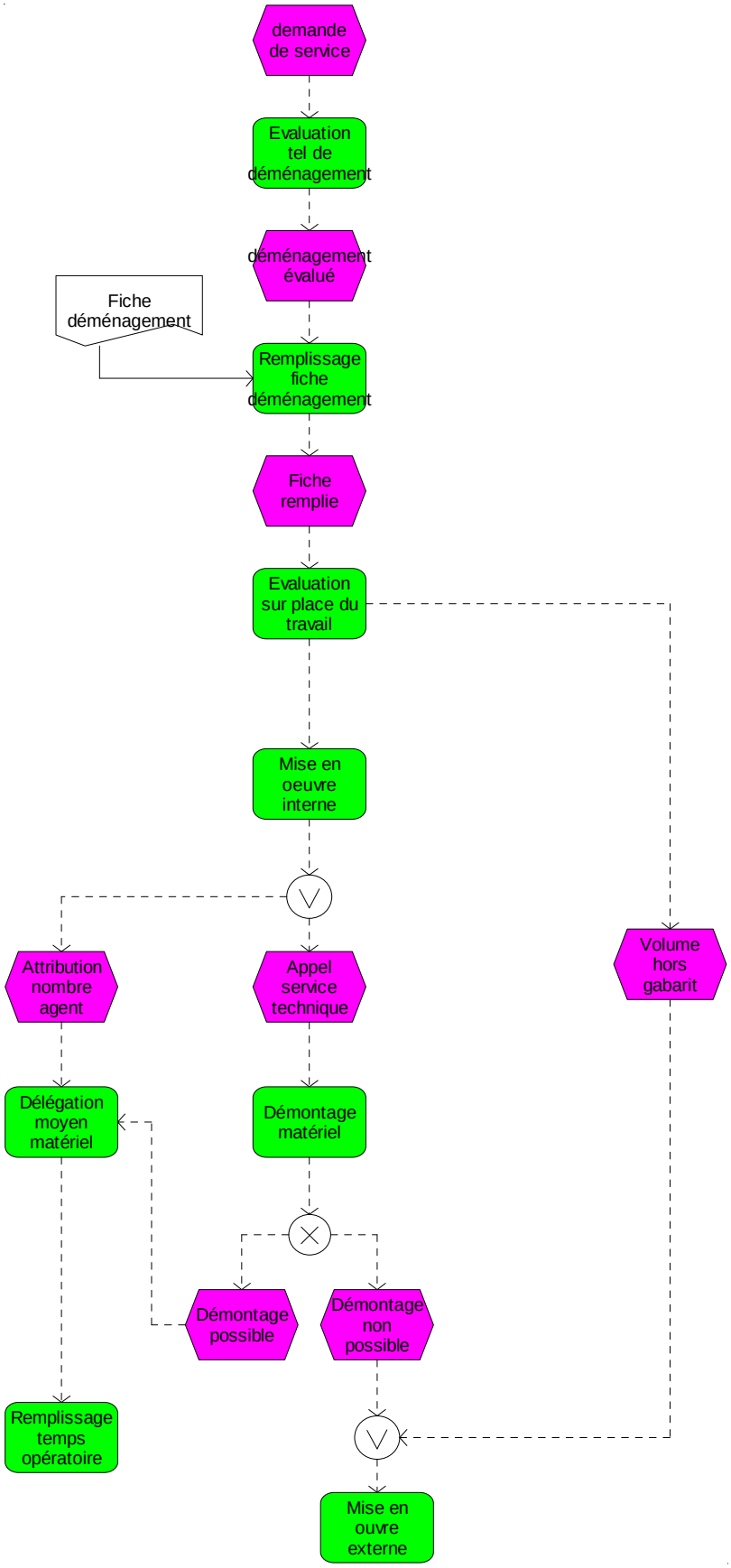


Figure 24 : Tri colis

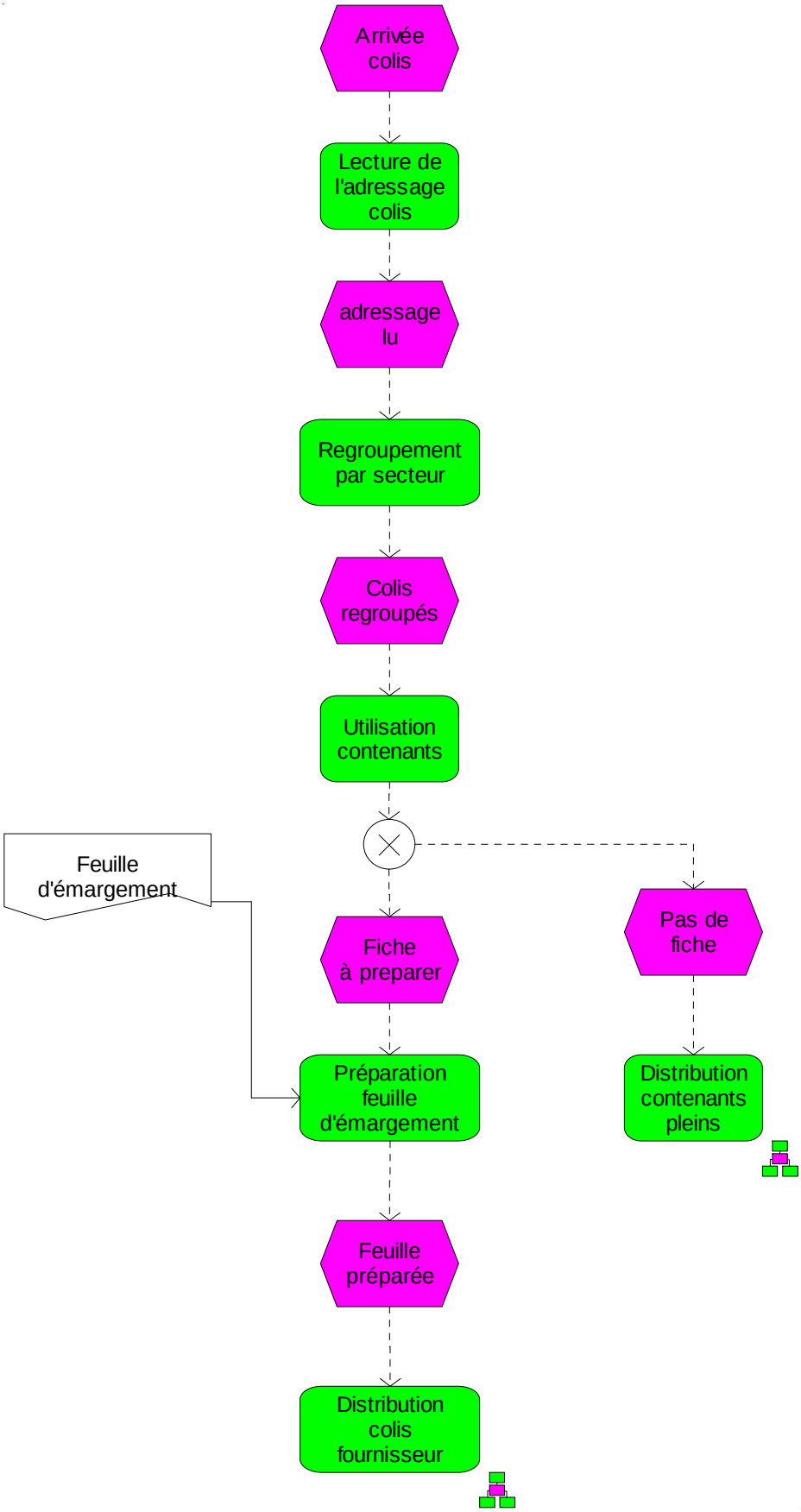


Figure 25 : Transport mobilier

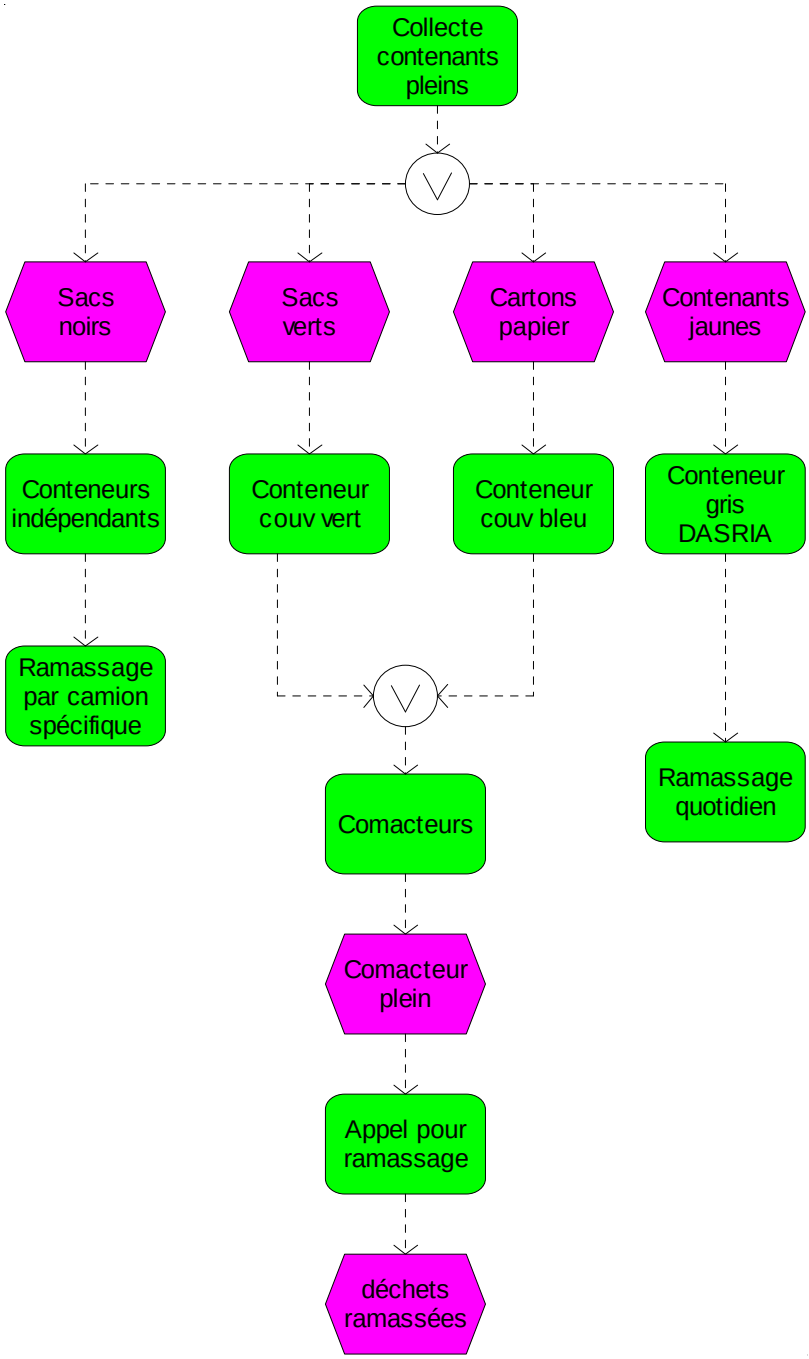


Figure 26 : Tri déchets

ANNEXE 3
OUTIL DE SIMULATION

Nous présentons l'outil de simulation de Monte-Carlo de la logistique hospitalière. A partir de l'écran d'accueil (Figure 1) l'utilisateur peut accéder à plusieurs écrans (brancardage, blanchisserie, restauration, stérilisation, imagerie). Chaque écran est composé de plusieurs paramètres d'entrée (durée de simulation, nombre d'agents,…), de valeurs moyennes et de résultats de simulation (Taux d'utilisation d'agent, makespan,…). L'objectif principal est le calcul d'une borne inférieure d'une durée moyenne de traitement d'un lot de tâches (makespan en productique).

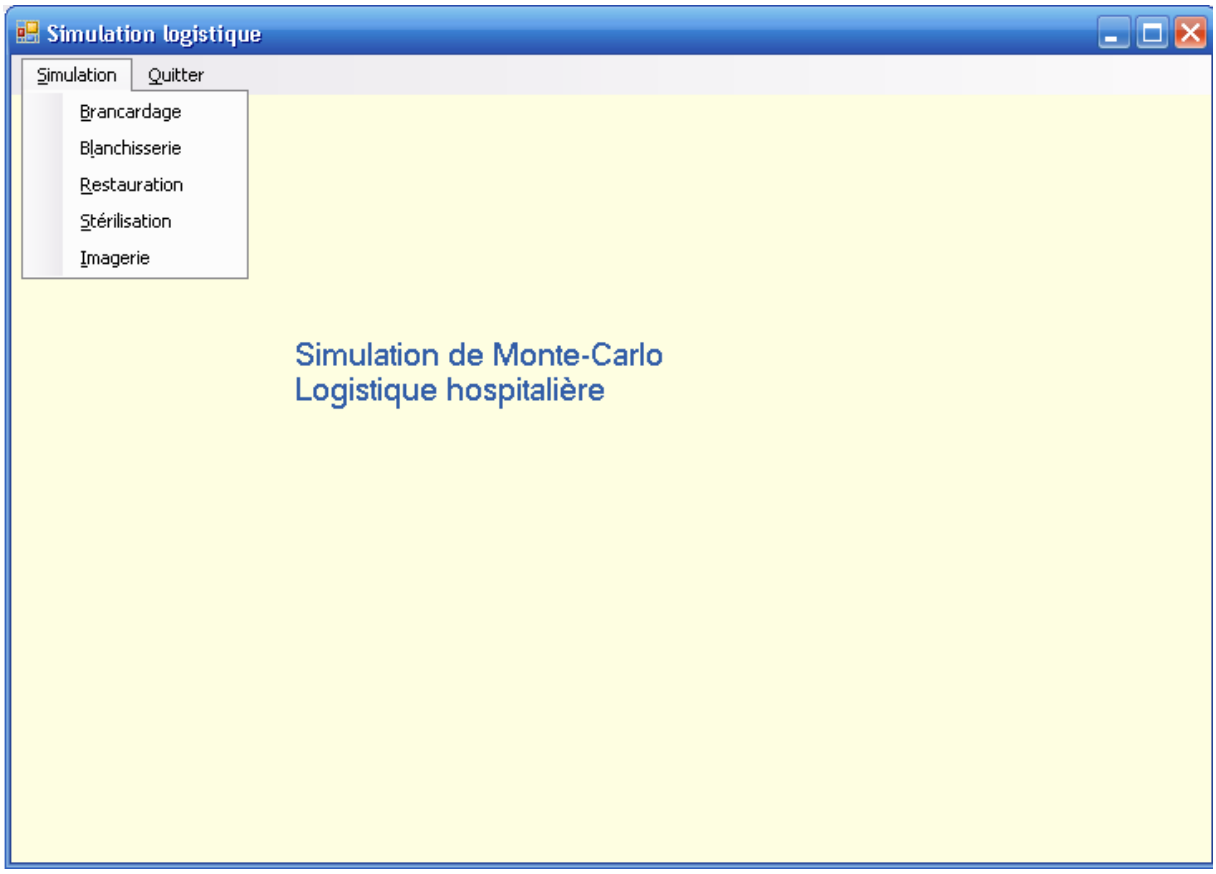


Figure 1 : Logiciel outil de simulation de Monte-Carlo logistique hospitalière

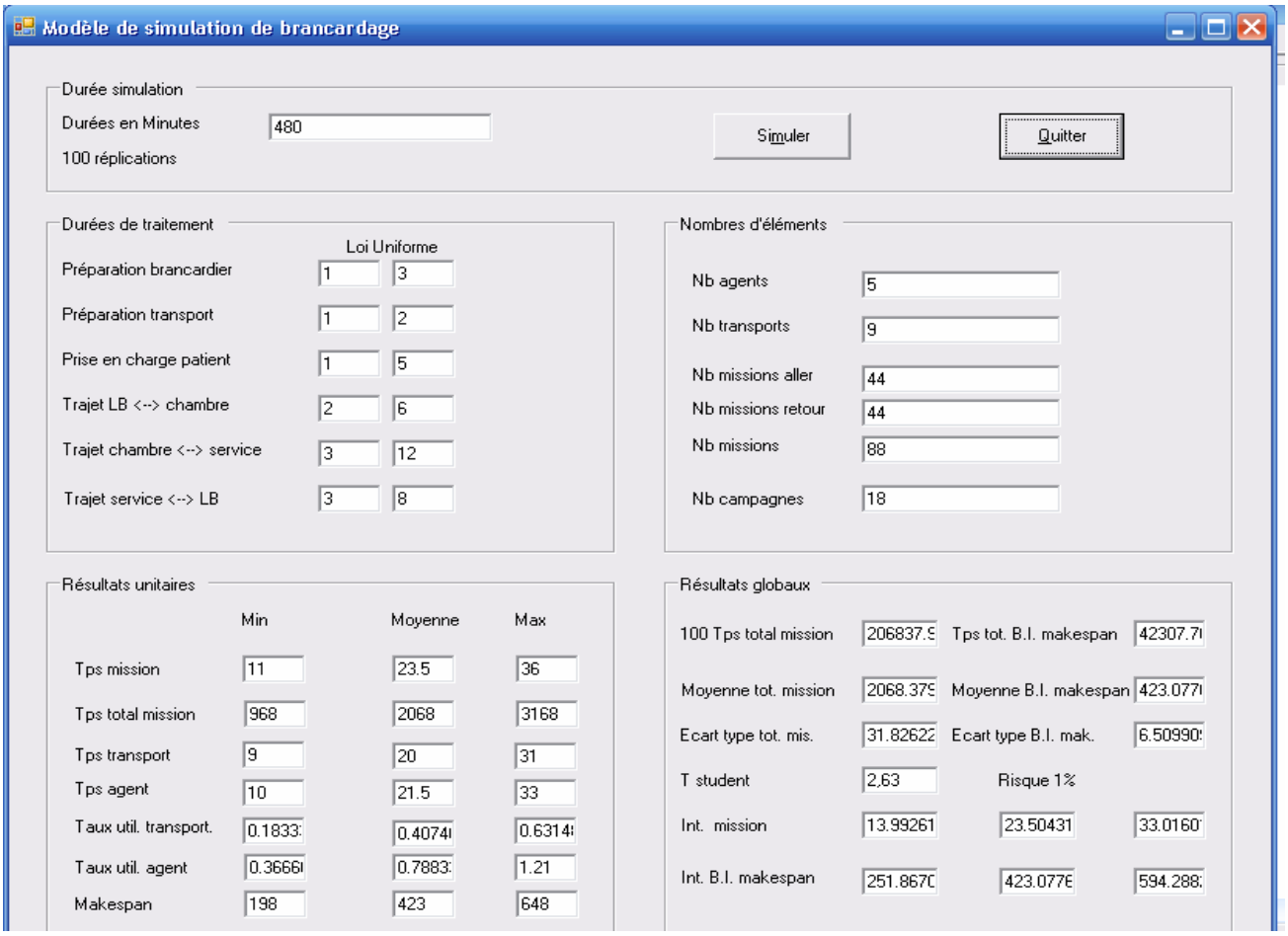


Figure 2 : Simulation du brancardage

Résultats de simulation	
Min	Valeur minimale de données de simulation
Max	Valeur maximale de données de simulation
Moyenne	Moyenne de données de simulation
Tps mis	Temps de mission
Tps trsp	Temps de moyen de transport où sont les données
Tps agt	Temps des agents
Taux agt	Taux d'utilisation des agents
Intervalle (-)	Intervalle de confiance valeur minimale
Intervalle (+)	Intervalle de confiance valeur maximale
Makespan	Durée de fin de réalisation
Intervalle makespan(-)	Borne minimale
Intervalle makespan(+)	Borne maximale

Tableau 1 : paramètres des résultats de simulation

Caractéristiques

Les différentes données et paramètres de l'outil de simulation pour le service brancardage sont :

- Pour chaque service de brancardage nous avons une loi uniforme (radio adulte, radio pédiatrie, écho adulte, écho pédiatrie, scanner),
- Nombre d'agents (brancardiers),
- Nombre de moyens de transport (lits, fauteuils, brancards),
- Nombre de missions a effectuer,
- Nombre de réplications.

Critères de performances

Pour estimer une borne inférieure du makespan moyen, le nombre *p* de transports en parallèle est d'abord calculé en fonction du nombre d'agents et de ressources de transport puis le nombre de missions est divisé par *p* pour obtenir le nombre de lots de missions en parallèle (nombre de campagnes). Il s'agit d'une borne inférieure de makespan car les attentes ne sont pas prises en compte.

Cet outil fournit des critères de performance par la simulation de Monte-Carlo :

- Taux d'utilisation des agents = (temps agent*nombre missions)*durée de simulation / nombre d'agents
- Taux d'utilisation des transports = (temps transport*nombre missions)*durée de simulation / nombre transports
- Temps de mission,
- Intervalle de confiance = moyenne (+,-) (T student * écart type)/ (nombre de réplications)^1/2
- Makespan = moyenne (+,-) (T student * écart type)/ (nombre de réplications)^ 1/2

Sachant que cette fenêtre est utilisée pour les autres services de la logistique, seules les données de simulation et les données des ressources changent.

L'utilisateur introduit les caractéristiques du système, données pour la simulation (loi d'arrivée et de service, ..) et pour les ressources (nombre d'agents, nombre de transporteurs, …). Le programme effectue le nombre de réplications demandées (simulation de Monte-Carlo) et produit des valeurs moyennes et des intervalles de confiance pour les principaux critères de performances (temps de mission, durée totale,…). Si les missions ne peuvent pas être complètement effectuées (makespan 493 minutes pour une journée de 480 minutes), la valeur du makespan sera certainement supérieure et il sera nécessaire d'effectuer la différence en heures supplémentaires ou d'augmenter le nombre d'agents.

Pour le calcul du nombre de campagne on a utilisé le principe suivant :

Si le nombre d'agent < nombre de transport alors
  ValeurP = nombre d'agent
Sinon
  ValeurP = nombre de transport

FinSI
Nombre de campagne = nombre de mission / ValeurP
Si reste > 0 ajouter une campagne

Nous remarquons que les résultats de simulation donnent des valeurs minimales, maximales et moyennes raisonnables. Pour le taux d'utilisation des agents nous obtenons une valeur moyenne de 78.83%. Le taux d'utilisation des transports, nous avons une valeur moyenne de 40.74%, ce qui explique que le moyen de transport n'est plus une ressource critique. Les résultats sont fournit très rapidement et les modifications de caractéristiques sont très faciles à effectuer.

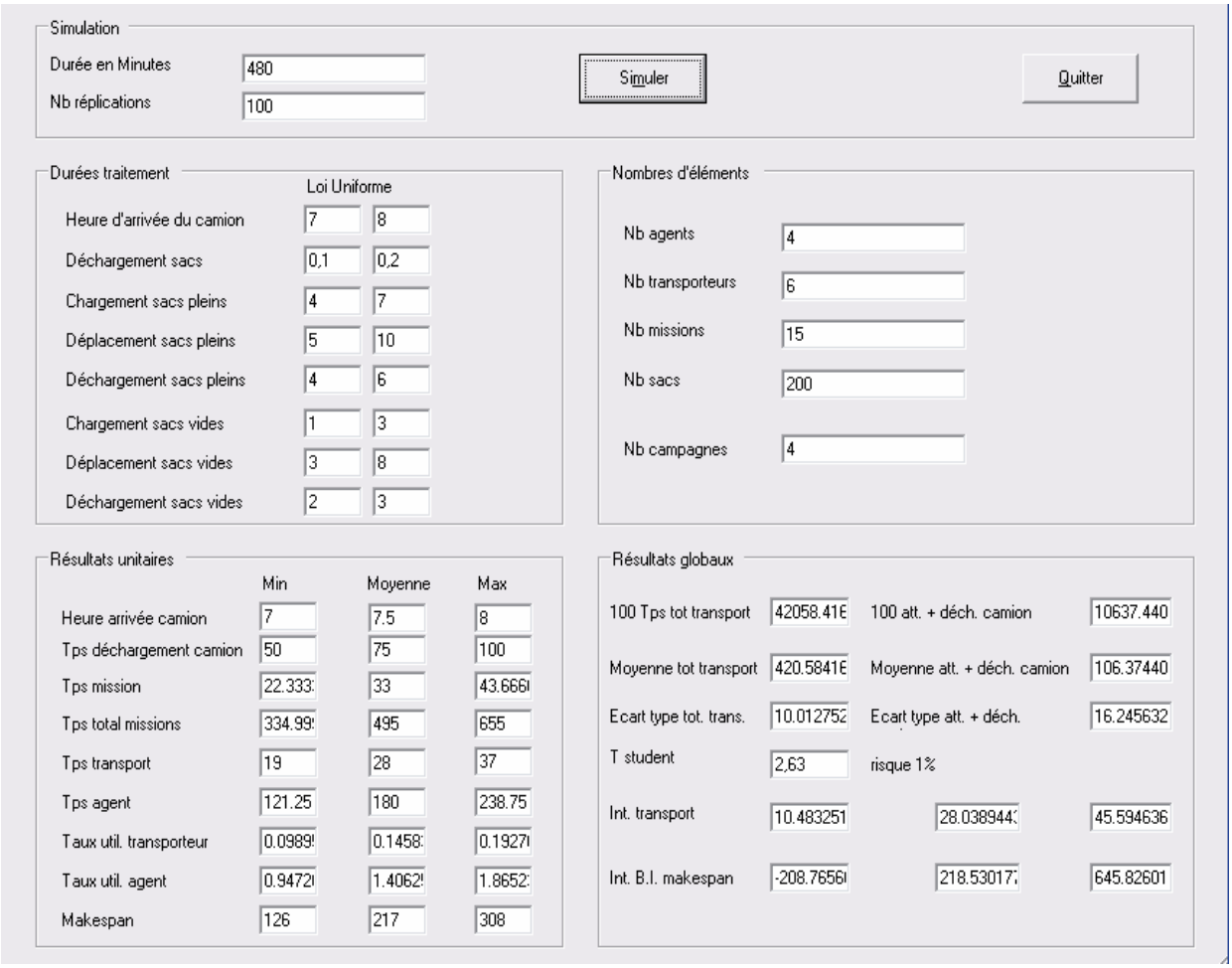


Figure 5 : Simulation de la logistique (Blanchisserie)

Même remarque pour le service blanchisserie, on a utilisé des lois uniformes pour les données de simulation (temps de chargement, temps déplacement plein, …). On remarque un taux d'utilisation moyen des agents de la blanchisserie de 100% et un taux d'utilisation des transports de 14.58% ce qui explique que les agents de service blanchisserie utilisent des moyens de transports pour effectuer leurs missions.

En conclusion on peut dire que le modèle de simulation fournis par Visual Basic permet de vérifier si un nombre limité de personnels ou de ressource provoque un retard dans l'exécution journalière d'un lot de missions. Cet outil est très performant car il permet d'effectuer plusieurs simulations pour ajuster les paramètres utilisés.