



**HAL**  
open science

**Conception et réalisation d'un système d'aide à la  
gestion des tensions dans les services d'urgences  
pédiatriques : vers des nouvelles approches d'évaluation,  
de quantification et d'anticipation**

Wided Chandoul

► **To cite this version:**

Wided Chandoul. Conception et réalisation d'un système d'aide à la gestion des tensions dans les services d'urgences pédiatriques : vers des nouvelles approches d'évaluation, de quantification et d'anticipation. Automatique / Robotique. Ecole Centrale de Lille, 2015. Français. NNT : 2015ECLI0010 . tel-01441914

**HAL Id: tel-01441914**

**<https://theses.hal.science/tel-01441914v1>**

Submitted on 20 Jan 2017

**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 : 267

ECOLE CENTRALE DE LILLE

## THESE

Présentée en vue d'obtenir le grade de

## DOCTEUR

En

Spécialité : Automatique, Génie Informatique, Traitement du Signal et Image

Par

**Wided Chandoul**

DOCTORAT DELIVRE PAR L'ECOLE CENTRALE DE LILLE

Titre de la thèse :

Conception et réalisation d'un système d'aide à la gestion des tensions dans les services d'urgences pédiatriques : vers des nouvelles approches d'évaluation, de quantification et d'anticipation

Soutenue le 04 juin 2015 devant le jury d'examen :

<b>Président</b>	<i>Sophie, DUPUY-CHESSA, Professeur, Laboratoire d'Informatique de Grenoble</i>
<b>Rapporteur</b>	<i>Alain, QUILLIOT, Professeur, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand</i>
<b>Rapporteur</b>	<i>Aziz, MOUKRIM, Professeur, Université de Technologie de Compiègne</i>
<b>Membre</b>	<i>Hervé, CAMUS, MC, Ecole Centrale de Lille</i>
<b>Membre</b>	<i>Jean-Marie RENARD, MCU-PH, Université de Lille 2</i>
<b>Membre</b>	<i>Nesrine, ZOGHLAMI, Maitre assistante, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis</i>
<b>Directeur de thèse</b>	<i>Slim, HAMMADI, Professeur, Ecole Centrale de Lille</i>
<b>Co-Directeur</b>	<i>Christophe, DI POMPEO, DR-HDR, Université de Lille 2</i>

Thèse préparée dans le Laboratoire CRIStAL UMR CNRS 9189 à l'Ecole Centrale de Lille

Ecole Doctorale SPI 072 (EC Lille)  
**PRES Université Lille Nord-de-France**



## **REMERCIEMENTS**

Je remercie en premier mon directeur de thèse le Professeur *Slim HAMMADI*, Professeur à l'Ecole Centrale de Lille, de m'avoir permis de travailler sur un sujet passionnant, d'avoir cru en moi et de m'avoir encouragée dans toutes les phases de ce projet. Je remercie tous nos partenaires pour les échanges constructifs et l'avancement que nous avons réalisé ensemble.

Je tiens également à remercier tous les membres de jury qui ont accepté d'examiner mon travail. En particulier, Professeur *Sophie DUPUY-CHESSA* pour avoir accepté de présider le jury de soutenance de cette thèse, Professeur *Alain QUILLIOT* et Professeur *Aziz MOUKRIM* qui m'ont fait l'honneur de rapporter ce travail.

J'adresse également mes remerciements les plus sincères au personnel de l'Ecole Centrale de Lille et en particulier à mes collègues de LAGIS. J'ai passé grâce à eux trois années fabuleuses dans la gaité, la générosité et le partage.

Lille restera pour toujours ma ville de cœur pour sa belle place colorée, sa vieille ville et ses restaurants authentiques. Pas seulement parce qu'on y mange et boit bien mais aussi pour toutes ces belles personnes que j'ai connu et avec qui j'ai partagé des moments inoubliables.

Je remercie du plus profond de mon cœur mes parents, ma grand-mère, mon frère et mes deux sœurs en Tunisie qui m'ont toujours soutenue. J'ai grandi et évolué, j'ai forcément changé loin de vous mais vous êtes toujours mon point de départ, vous êtes la source, ma plus grande force.

Enfin, un grand merci à ma deuxième famille en France : Mon homme Hassan toujours présent et bien veillant, mes meilleures amies Safa, Sahla et Amira et enfin ma chère cousine Narjesse.



## ***Table des Matières***

<i>Table des Matières</i> .....	1
<i>Index des Figures</i> .....	5
<i>Index des tableaux</i> .....	6
<i>Introduction Générale</i> .....	8
I. CHAPITRE I. Services d’Urgences en France : Un système de soin caractérisé par la tension .....	10
I.1 Introduction .....	11
I.2 Présentation des Services d’Urgences (SU) en France .....	11
I.2.1 Organisation : structure et ressources .....	13
I.2.2 Parcours du patient .....	15
I.2.3 Quelques caractéristiques .....	18
I.3 Problème majeur : la tension dans les SU .....	19
I.3.1 Définitions de la tension .....	20
I.3.2 Causes .....	21
I.3.2.1 Causes internes .....	21
I.3.2.2 Causes externes .....	22
I.4 Gérer la tension dans les SU .....	23
I.4.1 Evaluation et quantification de la tension .....	23
I.4.1.1 Travaux menés en Amérique .....	23
I.4.1.2 Travaux menés en France .....	25
I.4.2 Anticipation de la tension .....	28
I.5 Positionnement thématique .....	29
I.6 Conclusion .....	31
II. CHAPITRE II. Approches et Outils de gestion de tension dans les systèmes de soin .....	32
II.1 Introduction .....	33
II.2 Modélisation et simulation des flux .....	33
II.3 L’évaluation dans les systèmes de soins .....	35
II.3.1 Les indicateurs comme outils d’évaluation .....	36

II.3.2 L'agrégation des indicateurs pour l'évaluation multicritère .....	37
II.3.2.1 Méthodes classiques .....	38
II.3.2.2 La logique floue .....	38
II.4 Anticipation de la tension .....	43
II.4.1 Séries chronologiques (SC) .....	44
II.4.1.1 La tendance .....	45
II.4.1.2 La saisonnalité .....	45
II.4.2 Méthodes de prévision basées sur l'étude des SC .....	46
II.4.2.1 Méthodes basée sur le lissage exponentiel.....	47
II.4.2.2 Modèles de Box-Jenkins .....	48
II.5 Gestion des ressources et planification des activités .....	50
II.6 Positionnement méthodologique.....	52
II.7 Conclusion .....	53
III.    CHAPITRE III. Identification et modélisation floue des Indicateurs de tension .....	54
III.1 Introduction .....	55
III.2 Indicateurs modélisant la tension .....	55
III.2.1 Indicateurs spécifiques aux patients .....	58
III.2.1.1 Estimation et modélisation de la DP dans l'USE .....	58
III.2.1.2 Formulation et interprétation .....	61
III.2.2 Indicateurs modélisant la tension .....	64
III.2.2.1 Indicateur principal : Ratio Demande sur Offre (RDO) .....	65
III.2.2.2 Indicateur de conséquence : Ratio de Dépassement Total (RDT).....	66
III.2.2.3 Indicateur de conséquence : Ratio d'Attente Totale pour la PPC (RAT).....	67
III.3 Agrégation floue des indicateurs de la tension .....	68
III.3.1 Phase de fuzzification.....	68
III.3.1.1 Modélisation floue des indicateurs d'entrées .....	68
III.3.1.2 Modélisation floue du niveau de la tension .....	71
III.3.2 Phase d'inférence.....	72
III.3.3 Phase de défuzzification .....	73
III.4 Conclusion.....	74
IV.    CHAPITRE IV. Anticipation et évitement de la tension.....	76
IV.1 Introduction .....	77

IV.2 Système hybride d'anticipation à horizon glissant.....	78
IV.2.1 Problématique : quoi anticiper et sur quel horizon ?.....	80
IV.2.1.1 Anticiper le nombre d'arrivées pour des horizons larges.....	81
IV.2.1.2 Anticiper la tension pour des horizons courts.....	81
IV.2.2 Approche d'anticipation pour les horizons larges.....	82
IV.2.2.1 Identification des chroniques à anticiper.....	82
IV.2.2.2 Recomposition de l'historique.....	83
IV.2.2.3 Modélisation de l'influence externe pour la méthode SARIMAX.....	85
IV.2.3 Approche d'anticipation pour les horizons courts.....	89
IV.2.3.1 Méthodes d'anticipation.....	89
IV.2.3.2 Recomposition de l'historique.....	89
IV.3 Protocoles d'évitement de tension.....	91
IV.3.1 Classement des patients par priorité et optimisation de l'allocation de ressources.....	92
IV.3.2 Détecter la source de défaillance afin de proposer des diagnostics.....	93
IV.4 Conclusion.....	94
V. CHAPITRE V. Résultats et Simulations.....	95
V.1 Introduction.....	96
V.2 Analyses statistiques relatives au SUP Jeanne de Flandre du CHRU de Lille.....	96
V.2.1 Analyse des chroniques de fréquentation du SUP selon différents horizons.....	97
V.2.2 Analyse des facteurs externes influençant la fréquentation du SUP.....	99
V.2.3 Analyse statistique des DP.....	102
V.3 Résultats de l'évaluation floue de la tension.....	104
V.3.1 Fuzzification des indicateurs de tension.....	104
V.3.2 Base des règles d'inférence et diagnostics de tension.....	106
V.3.3 Résultats de l'agrégation floue.....	107
V.4 Résultats de l'anticipation.....	109
V.5 Système d'Aide à la Gestion de Tension (SAGeT).....	111
V.5.1 Plateforme et outils logiciels.....	111
V.5.2 Architecture système : Diagrammes de Classes.....	112
V.5.2.1 Module principal.....	112
V.5.2.2 Module graphique.....	113
V.5.3 Principe de fonctionnement via les Diagrammes de Séquences.....	113



V.5.4 Scénarios de simulation.....	116
V.6 Conclusion.....	119
<i>Conclusion Générale</i> .....	120
Annexes.....	122
Glossaire.....	136
Bibliographie.....	139

## ***Index des Figures***

Figure I-1 : Evolution des passages aux SU entre 2002 à 2012 en France (ARS-RA, 2013) .....	12
Figure I-2 : Architecture schématique d'un SU en 3 zones (SFMU, 2005) .....	14
Figure I-3 : Modélisation du parcours patient selon son déplacement dans le SU .....	15
Figure I-4 : Taux de recours aux urgences selon le motif de recours et l'âge du patient (DREES, 2014)..	18
Figure II-1: Fuzzification de la variable d'entrée A .....	42
Figure II-2: Fuzzification de la variable d'entrée QoS.....	42
Figure II-3: Fuzzification de la sortie NS .....	42
Figure II-4: Agrégation des conclusions de la sortie NS par l'opérateur Max .....	42
Figure II-5 : Surface de décision finale .....	42
Figure III-1: Schéma illustratif de l'approche floue.....	55
Figure III-2 : Schéma illustratif du suivi de l'avancement des traitements pour les patients de l'USE .....	56
Figure III-3: Représentation illustrative de la distribution d'une DPP par un système tampon .....	60
Figure III-4 : Modélisation de la progression d'un traitement avant et après dépassement .....	64
Figure III-5 : Fonction d'appartenance trapézoïdale .....	69
Figure III-6: Fuzzification d'un indicateur en entrée .....	69
Figure III-7 : Fuzzification de la sortie « Niveau de Tension » .....	72
Figure III-8 : Schéma illustratif de l'approche d'ajustement des règles floues .....	73
Figure III-9 : Exemple de surface de décision affichant le CoG et la zone d'alerte correspondante .....	74
Figure IV-1 : Architecture fonctionnel du Système Hybride d'Anticipation (SHA) .....	79
Figure IV-2 : Recomposition d'historique hebdomadaire pour les vacances de printemps 2013 .....	84
Figure IV-3 : Recomposition d'historique journalier pour les vacances de printemps 2013 .....	85
Figure IV-4 : Diagramme illustratif de l'approche SARIMAX pour la prévision journalière .....	86
Figure IV-5 : Schéma explicite de la modélisation floue du facteur d'influence externe .....	87
Figure IV-6: Modélisation floue de la variable de sortie « Facteur d'Influence Externe».....	87
Figure V-1 : Nombre total de patients par mois au SUP Jeanne de Flandre .....	97
Figure V-2 : Nombre total de patients par semaine au SUP Jeanne de Flandre .....	98
Figure V-3 : Nombre total de patients par jour au SUP Jeanne de Flandre.....	98
Figure V-4 : Corrélogramme relatif à la chronique mensuelle.....	98
Figure V-5 : Corrélogramme relatif à la chronique journalière.....	98
Figure V-6 : Corrélogramme relatif à la chronique horaire.....	98
Figure V-7 : Nombre de cas recensés pour les syndromes grippaux au NPDC .....	100
Figure V-8 : Nombre de cas recensés pour la gastro-entérite au NPDC .....	100
Figure V-9 : Nombre d'arrivées au SUP entre le 30/01/2012 et le 15/03/2012 .....	101
Figure V-10 : Progression pour un cas de gastroentérite avec 2 examens complémentaires .....	103
Figure V-11 : Distribution du RDO au cours de la journée.....	105
Figure V-12 : Distribution du RAT au cours de la journée .....	105
Figure V-13 : Distribution du RDT au cours de la journée .....	105
Figure V-14 : Couleurs des voyants d'alertes selon le Niveau de Tension (NT) .....	107

Figure V-15 : Distribution du niveau de tension au cours de la journée .....	108
Figure V-16 : Occurrence en pourcentage des alertes pour les 5 états du NT (toute la durée de l'étude) .....	109
Figure V-17: Occurrence en pourcentage des alertes pour les 5 états du NT (période épidémique) .....	109
Figure V-18 : Résultats de prévision pour l'horizon mensuel.....	110
Figure V-19 : Vue Statique – Diagramme de Classes - SAGeT .....	112
Figure V-20 : Diagramme de séquences mettant en œuvre le fonctionnement global de SAGeT .....	114
Figure V-21 : Diagramme de séquences mettant en œuvre le déroulement de l'évaluation Floue .....	115
Figure V-22 : Diagramme de séquences mettant en œuvre le déroulement de l'anticipation .....	116
Figure V-23 : Progression du NT au cours de la journée : 28.11.2013 .....	117

### ***Index des tableaux***

Tableau I-1 : Mesures employées pour évaluer la qualité de prévision .....	29
Tableau II-1 : Description des étapes du traitement flou.....	40
Tableau II-2 : Paramètres de l'exemple introductif.....	41
Tableau II-3 : Description des étapes du traitement flou de l'exemple introductif.....	42
Tableau II-4 : Matrice de décision.....	42
Tableau III-1 : Structure de la TableDesDP .....	59
Tableau IV-1 : Paramètres et protocole d'anticipation pour les horizons larges.....	83
Tableau V-1 : Répartition horaire du personnel médical .....	96
Tableau V-2 : Vacances scolaires de 2011 à 2013 en Zone B .....	99
Tableau V-3 : Températures max et min du 26/01/2102 au 05/02/2012 .....	101
Tableau V-4 : Températures max et min du 01/03/2102 au 11/03/2012.....	101
Tableau V-5 : Exemples de quelques médianes des DP (en min) .....	102
Tableau V-6 : Seuils de fuzzification pour les indicateurs clés.....	106



## *Introduction Générale*

Depuis la canicule de l'été 2003 en France, les engagements régionaux et nationaux face à la lutte contre les pics d'activité et la tension dans le réseau des systèmes de soin se sont multipliés afin de garantir aux patients une meilleure qualité de prise en charge. C'est dans ce cadre que s'inscrivent les travaux de cette thèse au cœur du projet HOST<sup>1</sup> : Hôpital : Optimisation, Simulation et évitement des Tensions, financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR)<sup>2</sup>, dans le programme ANR TECSAN 2011.

Trois objectifs sont définis dans ce projet : modéliser et évaluer la tension par des indicateurs clés, anticiper la demande et la tension dans un Services d'Urgences (SU) et enfin proposer des solutions d'aide à la décision pour les gestionnaires afin d'offrir une meilleure organisation.

De plus, ce projet a pour but la conception et la réalisation d'un Système d'Aide à la Gestion de la Tension (SAGeT) dans un SU et plus particulièrement dans les Services d'Urgences Pédiatriques (SUP). Il s'agit d'un outil informatique assurant la mise en œuvre des trois objectifs mentionnés.

En effet, offrir un outil informatique d'aide à la décision permettra aux praticiens d'être plus concentrés sur leur mission principale « soigner les patients » dans un contexte qui exige la rapidité et la fiabilité. Il sera conçu pour être connecté à la base de données de l'établissement afin qu'il évalue automatiquement et en temps réel pour chaque configuration du service les performances, les risques et essentiellement la tension ressentie. Il assurera également l'anticipation de la demande et de la tension sur différents horizons et proposera des diagnostics et des solutions potentielles. Cet outil offrira un tableau de bord permettant le suivi de l'activité et la gestion des flux patients afin de détecter les sources d'anomalies dans une situation de crise.

Lutter contre la tension dans le SU doit prendre en compte le recours aux nouvelles technologies sur deux niveaux : un niveau interne propre à la structure par l'appui de SAGeT, et un deuxième niveau externe qui peut être à l'échelle régionale où il est indispensable de créer un réseau de

---

<sup>1</sup> <http://host.ec-lille.fr/>

<sup>2</sup> <http://www.agence-nationale-recherche.fr/>

soins interconnecté assurant la permanence des soins et favorisant l'échange des données. Cette coopération permettra l'amélioration de la prise en charge, la régulation dans les points de congestion, le retour d'expériences et l'instauration d'un langage commun.

Nous développons nos travaux dans cette thèse organisée en 5 chapitres comme suit:

- Chapitre I : développe via un état de l'art le contexte de l'étude (caractéristiques des SU en France) et les caractéristiques de notre problématique (définitions, causes et effets de la tension, évaluation, quantification et anticipation de la tension) pour finir par proposer notre positionnement thématique.
- Chapitre II : développe via un état de l'art les axes porteurs et les approches appliquées dans notre problématique pour finir par proposer notre positionnement méthodologique.
- Chapitre III : développe la modélisation des indicateurs de tension, ensuite l'approche floue pour leur agrégation. Ce volet correspond au premier objectif du projet HOST.
- Chapitre IV : développe un Système d'Anticipation Hybride d'Anticipation à horizon glissant où les méthodes de prévisions adoptées selon l'horizon sont détaillées. Ce volet correspond au deuxième objectif du projet HOST. Ensuite, il développe des solutions potentielles pour offrir une meilleure gestion de la tension dans le SU comme la proposition d'ensemble de recommandations (classement prioritaire des patients, suivi d'indicateurs, modes d'organisation...) susceptibles de faciliter l'anticipation et la gestion de la tension. Ce volet correspond au troisième objectif du projet HOST.
- Chapitre V : développe les résultats de validation des approches adoptées, ensuite présente SAGeT en termes d'architectures logicielle et fonctionnelle. Enfin quelques scénarios d'utilisation de SAGeT seront détaillés afin de démontrer l'efficacité des solutions proposées. Ce volet combine le déploiement des trois objectifs du projet HOST.

Enfin, la conclusion générale reprendra tous les objectifs atteints, les possibilités de généralisation et enfin les perspectives.

**I. CHAPITRE I. Services d'Urgences en France : Un système de soin caractérisé par la tension**

## **I.1 Introduction**

La France a consacré en 2013, 11,7% de son PIB en dépenses de santé et s'est classée en 8<sup>ème</sup> position mondiale d'après la base de données sur les comptes nationaux de santé de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). De plus, le Ministère des Affaires Sociales et de la Santé (MASS) a annoncé une hausse de 2,4% des dépenses de santé en 2014. Ce qui prouve un engagement politique important face à une demande croissante dans ce secteur. Dans cette étude, nous accordons une attention particulière à l'un des systèmes de soin qui se trouve au cœur de l'activité médicale. Ce système touche presque toutes les autres cellules du réseau des systèmes de soin en jouant le rôle du système tampon, présentant parfois la seule alternative d'orientation des patients à cause de la capacité de traitement insuffisante dans les autres parties de ce réseau. Il s'agit du Service d'Urgences (SU).

Si l'exercice dans les SU diffère d'une prise en charge médicale classique, c'est dû essentiellement à une demande de soin peu stable et prévisible causant ainsi des problèmes d'engorgement et de tension.

Dans ce chapitre, nous étudions, dans un premier temps, les caractéristiques des SU en France. Dans un deuxième temps, nous proposons un état de l'art sur une problématique majeure les touchant qui est la tension. Dans cet état de l'art, nous développons, tout d'abord, les définitions existantes de ce phénomène et nous présentons notre propre définition puis nous étudions ses causes. Dans un troisième temps, nous proposons les différentes mesures et méthodologies existantes pour la quantifier et l'évaluer, ainsi que les travaux qui ont visé à l'anticiper selon différents horizons. En définitive, nous proposons une vue globale sur ces travaux qui nous permettra de nous positionner dans le cadre de cette thématique.

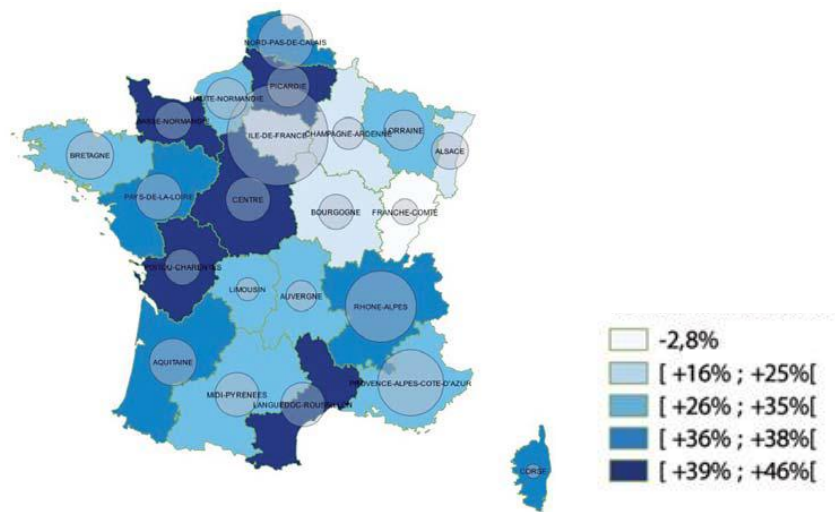
## **I.2 Présentation des Services d'Urgences (SU) en France**

La Charte de Médecine d'Urgence (SFMU, 2003a) définit les missions des SU : leur principal rôle est d'accueillir et de prendre en charge en urgence tous les patients qui y viennent spontanément ou qui y sont amenés par les services de secours (SAMU, pompiers, police...).



Nous distinguons deux types d'urgence : *vitale* (dites aussi réelle) et *ressentie* (Gentile et al., 2004). Cependant les SU accueillent les patients sans sélection 24h/24, tous les jours de l'année comme l'énonce l'article R712-65 du Code de la Santé Publique (CSP) avec quelques exceptions pour les SU spécialisés (maternité, pédiatrie, psychiatrie). Ce qui fait que les portes des SU sont constamment ouvertes puisque aucune barrière d'accès n'existe. D'ailleurs, SU rime souvent avec saturation, problèmes d'organisation, personnel stressé fatigué et débordé, plusieurs notions que nous avons rapportées au terme « Tension ».

De plus, le nombre de passages annuels aux SU de France métropolitaine et de ses départements d'outre-mer est passé de 13,6 millions à 18,5 millions entre 2001 et 2011 (Vuagnat, 2013). Soit l'équivalent d'une hausse de 36% en 10 ans qui risque de prendre encore plus d'ampleur dans les années à venir avec tous les problèmes de santé publique modernes, comme l'obésité, l'alcoolisation, le tabagisme, les risques liés à l'environnement, etc. Toutefois, l'évolution de la demande est fortement variable selon les régions de France comme le montre la Figure I-1. Cela justifie les différents degrés d'engagements régionaux pour encadrer ce phénomène.



**Figure I-1 : Evolution des passages aux SU entre 2002 à 2012 en France (ARS-RA, 2013)**

Afin de comprendre les besoins et les craintes, améliorer les politiques mises en œuvre et optimiser les dépenses face à cette hausse permanente dans ces temps de crise, plusieurs changements et réformes ont touché de près les SU. Nous citons ci-dessous les plus marquants durant ces dix dernières années :

- La loi n° 2009-879 “Hôpital, Patients, Santé, Territoires” (HPST) du 21 juillet 2009 qui réforme en profondeur l’organisation médicale (ANAP, 2010a).
- Les réformes financières : Le Forfait Annuel des Urgences (FAU), le Forfait d’Accueil et Traitement des Urgences (ATU), la tarification à l’activité (T2A) (MASS, 2007).
- Le décret n°2006-576 du 22 mai 2006 relatif à la médecine d'urgence modifiant ainsi son organisation et le CSP.
- Le plan national « Urgence » (MSFPH, 2004) présentant 24 mesures pour améliorer le fonctionnement et la gestion des SU et les actions en aval comme en amont permettant une meilleure organisation de la Permanence d’Accès aux Soins de Santé (PASS).
- L’arrêté du 22 septembre 2004 fixant la liste et la réglementation des diplômes d’études spécialisées complémentaires de médecine dont la création du diplôme d’études spécialisées complémentaires de médecine d’urgence.
- Le décret n°2003-880 du 15 septembre 2003, relatif aux modalités d'organisation de la PASS.
- L’engagement au niveau régional également : comme la création de l’Observatoire Régional des Urgences (ORU) de Midi-Pyrénées (ORU-MIP) qui représente l’initiateur de cette organisation (2001) après se sont succédés dans le temps d’autres observatoires, comme celui de Limousin (ORU-LIM) en 2007, Provence-Alpes-Côte d'Azur (ORU-PACA) en 2008, Lorraine (2011), Alsace (2010). Le but étant de suivre régulièrement l’activité des SU encadrés territorialement par ces organisations et d’avoir régulièrement des rapports quantitatifs et qualitatifs détaillés sur l’activité.

A cet effet, la Direction de la Recherche, des Etudes, de l’Evaluation et des Statistiques (DREES) a réalisé jusqu’à présent deux vastes enquêtes sur la prise en charge dans les SU. La première était en 2002 (DREES, 2002) tandis que la deuxième était en 2013 (DREES, 2013). Le but à chaque fois était de visualiser les caractéristiques des usagers et d’analyser l’existant. Reconduire l’enquête après 10 ans permet de donner un aperçu sur les évolutions afin d’évaluer et adapter, voir améliorer les politiques mises en œuvre.

### **I.2.1 Organisation : structure et ressources**

L’article D712-56 du CSP énonce qu’un SU en France doit disposer de locaux distribués en trois zones, comme le montre la Figure I-2 :

- Une zone d'accueil où se déroule le premier contact avec le patient afin d'identifier le degré de son état d'urgence et l'orienter vers un cheminement adéquat.
- Une zone de soins externes pour les soins et les examens où se déroule la plus grande partie de la prise en charge que nous appelons Unité de Soins Externes (USE). Cette unité comprend les traitements pouvant être assurés sans hospitalisation préalable, parfois en quelques heures.
- Une zone de surveillance qui est l'Unité d'Hospitalisation de Courte Durée (UHCD). Comme son nom l'indique, cette zone composée essentiellement de lits sert à stabiliser et à surveiller l'état d'un patient dans une limite de 24 heures, soit avant sa sortie, soit avant son orientation vers un autre secteur de soin.

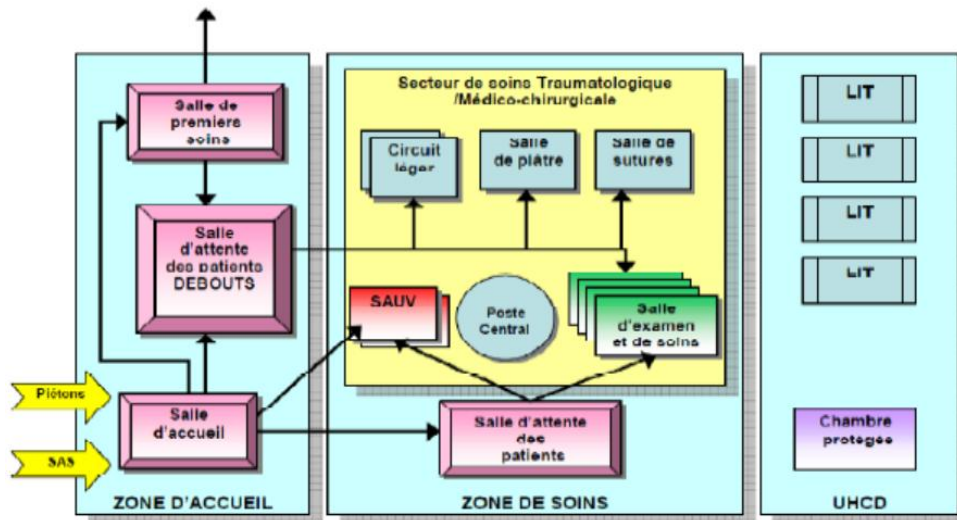


Figure I-2 : Architecture schématique d'un SU en 3 zones (SFMU, 2005)

Un SU comporte, en outre, un plateau technique regroupant obligatoirement un laboratoire d'analyses pour assurer les examens biologiques et un service d'imagerie (Article D712-58 du CSP). De plus, des moyens informatiques et logistiques sont mis à la disposition de l'établissement pour assurer une meilleure gestion de l'activité.

Cette structure est gérée essentiellement par une équipe médicale dirigée par un médecin responsable et une équipe paramédicale dirigée par un cadre infirmier (Article D712-53 du CSP). Tous deux veillent sur la permanence de l'activité de sorte que 24h/24 et 7j/7, au moins un Médecin Urgentiste (MU) et deux Infirmiers Diplômés d'Etat (IDE) soient effectivement présents afin d'assurer la prise en charge nécessaire des patients (Articles D712-54 et D712-55 du CSP).

Nous trouvons d'autres métiers indispensables à l'offre des soins, tels que les Aides-Soignants (AS), les brancardiers, les assistants de service social et des agents administratifs.

De plus, les SU ne sont pas des structures indépendantes car ils sont obligatoirement liés au réseau de santé en amont comme en aval, du moment qu'ils absorbent une charge de soins, allégeant ainsi la charge des autres structures (hôpitaux, médecins de ville, structures sociales...) et orientant les patients vers des structures plus adéquates suite à des avis médicaux.

### I.2.2 Parcours du patient

L'activité des SU se concentre essentiellement autour de l'accueil et la prise en charge urgente. Cette fonction peut être décrite autour d'un ensemble d'étapes clés constituant « le parcours du patient ». La Figure I-3 modélise le parcours du patient qui est le processus suivi dès l'entrée du patient jusqu'à sa sortie. Ce processus peut être décrit par des déplacements dans les différentes zones de la structure où chaque zone offre un service adéquat moyennant un protocole prédéfini de prise en charge. En fonction de l'organisation du SU ou encore du protocole de prise en charge et selon l'état du patient et de sa pathologie, son parcours peut varier légèrement d'un établissement à un autre. Cette variation peut être constatée dans l'enchaînement des étapes. Cependant les procédures et les pratiques médicales demeurent les mêmes.

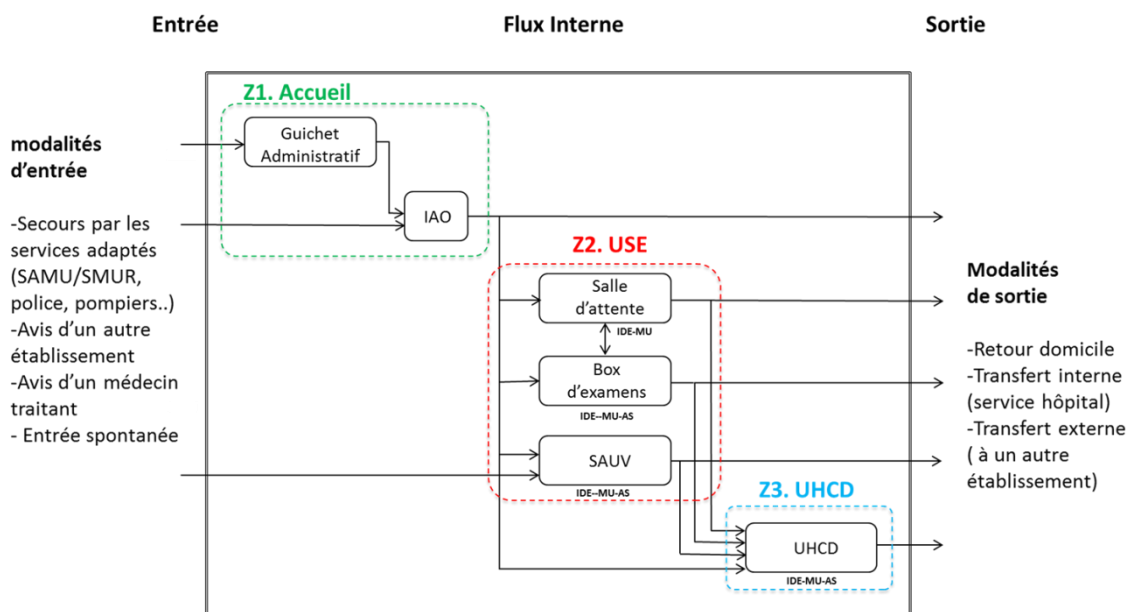


Figure I-3 : Modélisation du parcours patient selon son déplacement dans le SU

Tout d'abord, il existe plusieurs modalités d'entrée au SU : le patient peut se présenter spontanément après son propre jugement de son état de santé, ou encore il peut être adressé par un médecin traitant ou un autre établissement. Autrement, il peut être amené par les services de secours. En effet, les arrivées aux urgences sont généralement non programmées, sauf dans le cas où l'arrivée d'un patient est annoncée, cas des patients amenés par le Service Mobile d'Urgence et de Réanimation (SMUR).

En arrivant aux urgences, un premier contact s'établit avec l'Infirmière d'Accueil et d'Orientation (IAO). Le rôle de l'IAO est l'orientation médicale initiale du patient afin d'optimiser son circuit de prise en charge (Deschamps and Leman, 2005). Elle doit donc accueillir le patient et s'informer en posant diverses questions sur son état, antécédents médicaux, vaccins, etc. Elle peut également vérifier ses constantes vitales. Cet exercice dure entre 5 et 10 minutes et elle doit évaluer rapidement son degré de gravité par l'attribution d'un score. Diverses échelles existent dans les urgences (SFMU, 2013). En France, c'est la Classification Clinique des Malades aux Urgences (CCMU) qui est la plus utilisée. L'échelle de ce système de triage se présente de 1 à 5, 5 étant le cas le plus grave, en plus de deux classes P et D :

- CCMU 1 état lésionnel ou pronostic fonctionnel jugé stable avec abstention d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique à réaliser au service des urgences
- CCMU 2 état lésionnel ou pronostic fonctionnel jugé stable et décision d'acte complémentaire diagnostique ou thérapeutique à réaliser aux urgences
- CCMU 3 état lésionnel ou pronostic fonctionnel susceptible de s'aggraver aux urgences et n'engageant pas le pronostic vital
- CCMU 4 situation pathologique engageant le pronostic vital et prise en charge ne comportant pas la pratique immédiate de manœuvre de réanimation
- CCMU 5 situation pathologique engageant le pronostic vital et prise en charge comportant la pratique immédiate de manœuvre de réanimation
- CCMU P problème psychiatrique isolé ou associé à un état lésionnel ou un pronostic fonctionnel stable
- CCMU D patient décédé à l'arrivée aux urgences et aucune manœuvre de réanimation entreprise (SFMU, 2005)

Un accueil administratif se déroule généralement en amont ou en parallèle de l'accueil soignant de l'IAO. Il a pour but d'enregistrer le patient et de lui créer un dossier qui servira pour la traçabilité dans le Système d'Information Hospitalier (SIH) de l'établissement.

Un dossier patient possède un identifiant unique qui sera imprimé sur les étiquettes nécessaires pour la traçabilité et les étapes suivantes dans le processus de prise en charge (exemple : pour identifier les analyses biologiques et les radios). De plus, le dossier patient s'alimente par des saisies informatiques au fur et à mesure que le processus de prise en charge progresse.

D'ailleurs, ce protocole est règlementé puisque l'article R712-74 du CSP exige un nombre d'informations que le SU est dans l'obligation d'enregistrer pour chaque patient. Le minimum exigé de ces informations est : l'identité du patient, le jour, l'heure et le mode de son arrivée, l'orientation ou l'hospitalisation, le jour et l'heure de sortie ou du transfert hors du service ou de l'unité de proximité.

Le deuxième rôle de l'IAO est d'installer le patient, selon la disponibilité des ressources, en box de soin directement ou dans la salle d'attente jusqu'à ce que ce patient soit affecté à un box pour qu'un médecin l'examine. D'autres examens complémentaires et avis spécialisés peuvent être exigés au cours du processus, ce qui fait de la salle d'attente un point d'aller-retour permanent pour certains patients. Enfin, le patient pourrait être admis en UHCD avant sa sortie si son état nécessite une stabilisation et une surveillance temporaire.

On note qu'il s'agit ici du circuit le plus conventionnel car dans les cas des CCMU 4 et 5 correspondants à des pronostics vitaux jugés engagés, la phase d'accueil est dépassée et le patient est directement introduit dans la Salle d'Accueil des Urgences Vitales (SAUV) (SFMU, 2003b) et dans ce cas la création du dossier administratif est reportée.

Au terme de ce processus, il existe plusieurs modalités de sortie. Le plus souvent, le patient est orienté vers son domicile. Autrement, si son cas nécessite une hospitalisation, il sera soit hospitalisé dans l'établissement de soins auquel est rattaché le SU en fonction des spécialités représentées et des lits disponibles, soit transféré à un autre établissement.

### I.2.3 Quelques caractéristiques

La DREES a mené une enquête nationale récente auprès des 52 mille patients qui se sont présentés dans les 736 points d'accueils des urgences de la France métropolitaine et des DOM, le 11 juin 2013 : il s'agit d'un jour de semaine hors période de vacances et d'épidémies saisonnières. Une enquête qui a pour objectifs de connaître la genèse des recours, les modalités de prise en charge et les éventuelles difficultés rencontrées (DREES, 2014). En effet, les deux tiers des patients en France arrivent aux urgences depuis leur domicile avec trois motivations majeures :

- La confiance au SU, considéré comme le lieu le plus adapté et fiable aux soins.
- L'accessibilité et la permanence des soins (ouverture 24h/24, facilité d'accès, proximité géographique, disponibilité du plateau technique ou encore la gratuité).
- Une meilleure alternative à l'offre libérale (un accès plus complexe et des moyens limités).

Nous notons que le recours aux urgences est plus important pour la pédiatrie (surtout les nourrissons) et les personnes âgées (les plus de 75ans), comme le montre la Figure I-4. Il est donc essentiel de concentrer les efforts sur ces deux populations. D'autre part, les motifs de recours sont variés : la traumatologie détient la première place avec 36 % des diagnostics, atteignant 7 cas sur 10 pour la tranche d'âge 10-14.

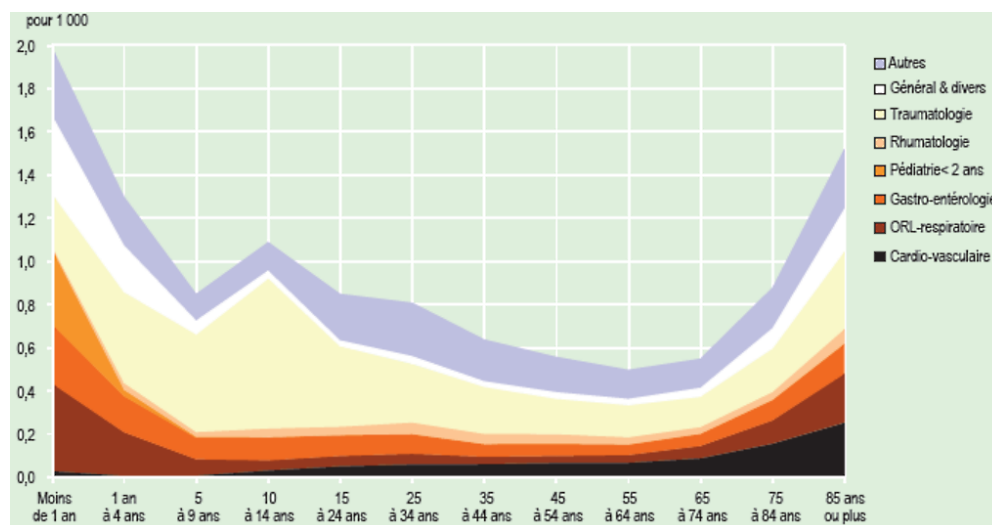


Figure I-4 : Taux de recours aux urgences selon le motif de recours et l'âge du patient (DREES, 2014)

La même enquête a analysé la Durée de Passage (DP) qui est la durée séparant le temps d'arrivée et le temps de départ d'un patient et montre que 48 % des patients en USE passent moins de 2 heures, dont 19 % sont pris en charge en moins d'une heure mais les DP sont très variables et plusieurs paramètres de classification peuvent entrer en jeu (Arkun et al., 2010).

Nombreux travaux ont examiné les facteurs démographiques et cliniques capables d'affecter la DP dont : (Li et al., 2013) (Wiler et al., 2012)(Gardner et al., 2007) (Lee et al., 2005). Cependant, la majorité considère tous les patients avec leurs différents diagnostics dans la même population.

Une 2ème enquête proposée par l'Agence Régional de Santé Rhône-Alpes (ARS-RA, 2013) propose une segmentation des DP selon la gravité. Les médianes des DP sont de 1h28 pour les CCMU 1, 2h31 pour les CCMU 2, 4h14 pour les CCMU 3, 4h pour les CCMU 4 et 3h22 pour les CCMU 5. Et d'après le recueil de bonnes pratiques organisationnelles aux urgences publié en 2008 par la Mission nationale d'Expertise et d'Audit Hospitaliers (MeaH, 2008), la DP dure moins de 4 heures pour 28 à 94 % des patients toutes catégories confondues. Nous notons que ces études étaient menées auprès de 41 SU et s'inscrivent dans la continuité des travaux menés depuis 2003 sur ce thème en France.

Enfin, au niveau de l'orientation finale, les trois quarts des patients rentrent chez eux et 20 % sont hospitalisés (DREES, 2014).

### **I.3 Problème majeur : la tension dans les SU**

L'une des problématiques redondantes évoquées autour des SU est l'engorgement et la tension ressentie par tous ses acteurs. Cette tension est manifestée par l'insuffisance des ressources humaines et matérielles (essentiellement les lits d'admission) face à une demande urgente de soins (Bair et al., 2010). Ce qui engendre d'une part, de longues durées attentes, des patients insatisfaits (Pines et al., 2008) (Collis, 2010) ne retrouvant pas la qualité de prise en charge souhaitée (Magid et al., 2004) (Hwang et al., 2008) et d'autre part un personnel fatigué et dépassé (Bernstein et al., 2009) (Hwang et al., 2008), sans négliger les pertes financières conséquentes (Falvo et al., 2007) et plus grave encore les risques de mortalité (Sprivulis et al., 2006) (Richardson, 2006) (Singer et al., 2011).



Nous parlons d'attente à différentes étapes du parcours du patient, suite aux goulots d'étranglement dans la structure en soi. Ces goulots se traduisent généralement par une pénurie de ressources (attente d'un lit, d'un spécialiste, libération d'un matériel spécifique...) ou tout simplement par des bonnes pratiques médicales, exemple : l'hydratation d'un enfant qui souffre d'une gastroentérite qui pourrait atteindre 8 heures ou encore une combinaison de ces deux aspects, exemple : l'attente des résultats biologiques qui pourrait dépendre à la fois de la procédure médicale mais aussi de la charge dans le laboratoire d'analyses.

Dans le SU, souvent les patients sont insatisfaits, plusieurs estiment que leur attente n'est pas légitime et que leur prise en charge devrait être immédiate. Ceci relève aussi de la subjectivité, ou encore du mauvais rang dans l'ordre des priorités des patients. Car il ne faut pas oublier que dans ces circonstances, des patients en urgences vitales sont largement prioritaires.

En somme, la cause principale de la tension est une demande qui dépasse l'offre engendrée par le principe même du fonctionnement de cette structure, du fait que la notion de prise de rendez-vous n'existe pas. Ce qui limite la marge d'organisation et de planification. Pire encore, dans le cas où plusieurs patients arrivent simultanément (cas d'une intoxication alimentaire dans une cantine par exemple). Il est donc indispensable de penser à des actions préventives et correctives possibles.

### **I.3.1 Définitions de la tension**

À ce jour, il n'y a pas de consensus autour d'une définition unique et universelle de la tension. En effet, (Hwang and Concato, 2004) propose une revue de littérature qui a retenu 23 définitions et critique le fait que ces définitions sont souvent implicites : 8 sont liées aux conditions internes (personnel, manque de lits, perception du surcroît d'activité), 11 sont liées aux conditions de l'hôpital en général, une est liée aux conditions externes et enfin, 3 sont liées à des combinaisons. Il est donc important de distinguer les causes, les caractéristiques et les effets de la tension car ces notions se chevauchent dans les études et elles ne sont pas précisément définies.

D'autre part, (ACEP, 2006) définit la tension comme « *une situation dans laquelle le besoin identifié des services d'urgence excède les ressources disponibles pour la prise en charge des patients, dans le SU, dans l'hôpital ou dans les deux à la fois* ».

Cette définition a été largement adoptée par la suite. Cependant elle ne met pas l'accent sur l'horizon temporel, ni sur les conséquences alors que la tension n'est pas qu'un pic d'activité mais la tension peut se prolonger sur la durée et l'ampleur de ses effets néfastes est proportionnelle à sa durée dans le temps. C'est pourquoi nous proposons la définition issue d'un travail de collaboration entre les différents chercheurs et praticiens dans le cadre de la deuxième journée de coordination du projet HOST, le 10 Juillet 2012 :

*Un état de tension dans le SU est un déséquilibre entre le flux de charge des soins et la capacité de prise en charge sur une durée suffisante pouvant entraîner des conséquences néfastes au bon fonctionnement.*

### **I.3.2 Causes**

Il existe plusieurs causes internes originaires des différents niveaux de flux dans le SU ou encore des causes externes pouvant contribuer à déclencher ou amplifier un état de tension venant de l'environnement. Bien comprendre ces causes permet de mieux analyser les situations de tension (Moskop et al., 2009a) afin de développer des solutions potentielles (Derlet and Richards, 2008) (Moskop et al., 2009b) .

#### ***I.3.2.1 Causes internes***

Nous adoptons l'approche de (Hoot et Aronsky, 2008) qui s'est basée sur le modèle conceptuel de la tension dans les SU constitué sur trois niveaux « entrée - flux interne - sortie » (Asplin et al., 2003). Les causes internes sur les trois niveaux sont :

Au niveau du **flux entrant**, la présence de deux catégories de patients non justifiée par un caractère urgent mais par des contraintes économiques et sociales ou à cause des délais de rendez-vous trop longs dans l'offre libérale:

- *Les visites non urgentes* : Autrement dit, des patients utilisant les SU comme un service de consultation. Pour ces patients, un retard de plusieurs heures n'aggrave pas leurs états de santé (Uscher-Pines et al., 2013). Ils se situent autour de 30% des visiteurs dans les pays occidentaux (Durand-Aprile, 2012).

- *Les patients “fidèles”* : Le recours fréquents aux SU est souvent justifié par des douleurs, maladies graves et chroniques pour les patients âgées, d’autres qui ont des contraintes budgétaires ou paradoxalement des patients assurés qui veulent amortir leurs cotisations et profiter de leurs avantages. (Hunt et al., 2006) définit les habitués comme ceux qui visitent les SU au-delà de 4 fois par an en démontrant que la majorité d’entre eux bénéficie souvent d’assurances médicale très avantageuses. Les habitués des SU en Amérique représentent entre 4,5% et 8% de tous les patients, mais représentent entre 21% à 28% de toutes les visites (LaCalle and Rabin, 2010). C’est pourquoi les encourager à s’orienter vers des sites alternatifs de soins aurait l’avantage de réduire la consommation des ressources des SU au profit des vrais cas urgents (Althaus et al., 2011) (Pines et al., 2011).

Au niveau du **flux interne**, ce qui peut créer des goulots d’étranglement au niveau de l’activité :

- *La pénurie des ressources humaines* : qui peut être due à une demande qui dépasse largement l’offre ou tout simplement l’inexistence de certaines ressources spécifiques dans le service en question (Yancer et al., 2006) (Wong et al., 2010).
- *La pénurie des ressources matérielles : essentiellement le manque de lits pour les admis* (Howell et al., 2008) (Khare et al., 2009).

Au niveau du **flux de sortie**, on note des causes de tension si le processus d’orientation vers la structure interne ou vers une structure externe est bloqué. Ce qui nécessite de garder le patient dans le service. Comme dans les cas suivants :

- *L’indisponibilité de moyens de transport adéquats* : « brancardiers, ambulances »
- *L’indisponibilité des lits en aval.*

### ***1.3.2.2 Causes externes***

Des causes externes peuvent accentuer la tension dans les SU comme :

- Les saisons épidémiques caractérisées par de plus fortes affluences.
- Les périodes à la suite des vacances scolaires caractérisées par des hausse de cas de traumatologie suite aux accidents divers de ski, escalade, sports aquatiques, etc.
- Les événements régionaux et festifs (festivals, match de football, manifestations...)

En effet, l'arrivée d'un groupe de patients suite à des accidents simultanés peut mettre le chaos au SU. Enfin, nous ne pouvons pas négliger les catastrophes naturelles (tempêtes, inondations..) et les conditions climatiques extrêmes comme les hausses de températures (exemple de la canicule de 2003 en France).

Nous pouvons remarquer que cette influence externe, peut varier d'une région à une autre, selon l'emplacement géographique, les conditions climatiques, la vie culturelle et sportive. Exemple : En région Rhône-Alpes, l'activité touristique à risque (montagne et rivière) contribuerait davantage au recours aux SU (ARS-RA, 2013).

#### **I.4 Gérer la tension dans les SU**

Notre objectif via ce travail est d'étudier le phénomène de la tension dans les SU, de le quantifier, de l'anticiper et d'essayer de proposer des solutions et des outils d'aide à la décision pour mieux le maîtriser. Nous proposons dans la suite un état de l'art relatif à ces axes.

##### **I.4.1 Evaluation et quantification de la tension**

Les travaux recensés dans la littérature pour l'évaluation de la tension se présentent sous formes d'indicateurs de performances, mesures et scores. Nous les répartissons en deux catégories : les études américaines concentrées sur un système de soins différent du nôtre en termes de culture et réglementation et les études françaises concentrées sur le même système que nous étudions.

###### ***I.4.1.1 Travaux menés en Amérique***

En effet, les années 2000 marquent l'apogée de l'évaluation et la quantification de la tension dans les SU d'Amérique. L'Annexe 1 illustre les mesures proposées par ordre chronologique ainsi que les paramètres pris en compte pour leur élaboration. Leur validation se déroulait dans un ou plusieurs sites, à posteriori ou en temps réel, en appliquant l'une de ces options :

- Etude de corrélation avec les avis des experts.
- Etude de corrélation avec la réorientation d'ambulances.
- Etude de corrélation avec le nombre de patients quittant sans être vu ou traité (fugues).
- Etude de corrélation avec d'autres mesures validées auparavant.

La première option est l'option la plus courante. Elle nécessite une enquête interne, par exemple les résultats de l'EDWIN (Annexe 1) ont été testés dans le cadre d'une étude de 5 semaines en 2002 dans différents sites : les praticiens devaient répondre à la question « Que diriez-vous de l'état de tension en ce moment? ». Ils devaient prendre en compte leur charge de travail, la charge de travail de tous les autres médecins et les infirmières, le nombre de patients dans le service et la salle d'attente, et enfin le nombre des admis (en attente d'un lit) en donnant un score allant de 1 à 5 (5 étant le plus élevé).

Pareil pour le NEDOCS (Annexe 1), il a été testé sur huit services d'urgences fréquemment victimes de la tension à cause de leurs grands volumes, des volumes de patients supérieurs à 40 000 par an, sur une période de trois semaines par des observateurs indépendants dans chaque site. Cependant, les SUP étaient exclus de cette étude car ils ont leurs propres caractéristiques et distributions. Des enquêteurs dans chaque site remplissaient des formulaires d'informations incluant des avis sur l'état de tension toutes les 4 heures.

La deuxième option est la comparaison avec la réorientation d'ambulances, dite (ambulance diversion) en anglais (Pham et al., 2006), qui est un protocole américain qui n'existe pas en France. Il obéit au principe suivant : Quand un SU est dans l'incapacité totale de prendre en charge un patient supplémentaire avec un pronostic vital jugé grave, soit le médecin traitant soit l'infirmière responsable a le droit de lancer cette demande de réorientations d'ambulances. Aucun accord entre les deux n'est nécessaire d'où cette théorie de corrélation entre la réorientation d'ambulances et la tension dans les SU.

La troisième option est la moins courante, car le paramètre « nombre de fugues » n'est pas forcément disponible dans tous les sites.

La dernière option était appliquée dans le cas de l'indicateur Taux d'Occupation (TO), dit OR en anglais (Annexe 1). Il a été validé dans le cadre d'une étude menée en 2005 dans 6 services, leurs volumes de patients annuels varient entre 55 000 et 99 000. De plus, la plupart d'eux pouvait calculer leurs TO en temps réel. Afin de valider cette mesure, (McCarthy et al., 2008) propose une étude comparative de ce score avec l'EDWIN, précédemment validé comme une mesure fiable de tension (Bernstein et al., 2003).

De plus, plusieurs études collaboratives ont permis de comparer les performances de ces scores. A cet effet, (Jones et al., 2006) classe en terme de capacité de prédire la tension en ordre décroissant NEDOCS, EDWIN , READI puis EDCS (Annexe 1). (Weiss et al., 2006) propose une étude comparative du NEDOCS et l'EDWIN comme il s'agit des deux meilleures mesures par une étude de sensibilité et spécificité qui s'est déroulée sur 10 jours, sur 130 périodes d'échantillonnage. En effet, les deux mesures étaient bien corrélées (coefficient de corrélation de 0.84), et ont montré un excellent pouvoir de prédiction de la tension dans les services d'urgence mais avec de meilleures performances pour le NEDOCS. Toutefois, le choix de l'utilisation d'une mesure dépend étroitement de la disponibilité des données.

D'autre part, l'EDWOS (Annexe 1) a démontré de meilleures performances par rapport à l'EDWIN avec une corrélation de 0,69 entre les deux scores. L'EDWOS semble être à la fois plus sensible et plus spécifique que l'EDWIN (Epstein et Tian, 2006).

(McCarthy et al., 2008) montre que la corrélation entre EDWIN et OR (TO en français) était de 0.58. En général, quand EDWIN est élevé, TO l'est aussi, seulement pendant la nuit et dans les premières heures du matin, le TO était faible. Cependant, comme EDWIN intègre le nombre de praticiens en service, il est très sensible à une réduction d'effectif. Et si l'EDWIN était élevé à ces heures ci, c'est parce qu'il y avait moins de praticiens. Il suffit d'éliminer le paramètre du personnel de la formule d'EDWIN, les deux mesures deviennent fortement corrélées dans tous les sites de l'étude. Toutefois, le TO a non seulement l'avantage d'évaluer la tension dans les SU, mais aussi d'être plus simple à calculer par rapport aux autres mesures.

(Kulstad et al., 2010), affirme également que les deux mesures ont à la fois une corrélation positive et un excellent pouvoir de prédire le nombre de patients qui quittent le service d'urgence sans traitement. Mais pour évaluer la tension dans un SU, le TO peut être le plus utile et applicable en raison de sa facilité de calcul et la disponibilité de ses paramètres.

#### ***1.4.1.2 Travaux menés en France***

Après cet aperçu sur les travaux les plus importants conduits en Amérique, nous allons parler maintenant des travaux conduits en France. Tout d'abord, l'initiative s'est lancée depuis la canicule 2003 qui a mis les SU en état d'alerte et a sensibilisé davantage les praticiens à ce

phénomène. l'Agence Nationale d'Appui à la Performance (ANAP) a lancé à partir de cette date, un grand chantier de suivi et d'accompagnement des établissements de santé pour mieux piloter l'activité et mesurer l'efficacité proposant un répertoire d'indicateurs d'évaluation dans tous les secteurs de soins (ANAP, 2010b). En particulier dans les SU, où elle a mis en place, en 2012, un outil d'auto-évaluation appelé "Urgences".

« Urgences » est un outil de pilotage et de gestion pour l'ensemble des gestionnaires (cadres, chefs de pôle, chefs de service...) souhaitant adopter une démarche d'évaluation et d'amélioration (ANAP, 2012). Il permet de réaliser des diagnostics d'auto-évaluation via le calcul d'indicateurs d'activités et de flux qui sont :

1. Nombre de passages

2. Temps de Passage Moyen =  $\frac{\sum \text{durées de chaque passage}}{\text{Nombre total de passages}}$

3. ETP<sup>3</sup> pour 10 000 passages =  $\frac{\text{Nombre ETP}}{\text{Nombre total de passages}} \times 10\,000$

Tenant compte de ces indicateurs et des caractéristiques internes de la structure, l'outil propose, dans une phase de diagnostic et affichage des résultats, une évaluation selon 4 critères (très satisfaisant, satisfaisant, insuffisant et très insuffisant) pour 14 enjeux: 1 Ressources, 2 Activité année N-1, 3 Filière Secteur, 4 SAMU SMUR, 5 Accueil Tri, 6 Organisation médicale, 7 Utilisation des box, 8 Plateau technique, 9 pilotage des flux et SI, 10 Avis spécialisé, 11 UHCD, 12 Brancardage, 13 Management et qualité, 14 Gestion des ressources humaines.

Au-delà de la démarche qualitative visée, cet outil vise à établir un langage commun et un support de communication favorisant les échanges et le retour d'expériences. Il s'agit d'une plateforme simplifiée sous Excel qui peut fonctionner en parallèle du SIH.

Il est aussi évident qu'il existe une volonté et des efforts régionaux considérables aux recours à l'évaluation et la quantification par des indicateurs d'activité dans les différents travaux des ORU en France, sauf que ceci se fait généralement à posteriori et se présente sous forme de rapport d'activité (ORU-Bourgogne, 2011) (ORU-MIP, 2014). Toutefois, l'ORU-Aquitaine propose un serveur de veille (INVS, 2008). Les SU y renseignent des informations sur leur activité deux fois par jour (11h30 et 14h30), sur la base de quatre indicateurs clés :

---

<sup>3</sup> Equivalent Temps Plein

1. le nombre total de passages aux urgences
2. le nombre de passages concernant les personnes âgées de 75 ans et plus
3. le nombre de passages concernant les enfants de moins d'1 an
4. le nombre d'hospitalisations et transferts.

Ces indicateurs sont donc surveillés et analysés afin de contacter les établissements concernés en cas de tension et diffuser l'information dans le réseau régional. Un seuil d'alerte UCL<sup>4</sup> est défini pour chaque indicateur à partir de l'activité quotidienne des 15 derniers jours tenant compte de la moyenne des observations  $\bar{x}$  et la moyenne des différences  $\overline{MR}$ .

l'ORU-PACA a également concrétisé sa démarche via le dispositif « Hôpital en tension » proposant des indicateurs de mise en alerte portant sur les données d'activité (ORU-PACA, 2013). En effet, les établissements doivent au quotidien (3 fois par jour) renseigner leurs disponibilités de lits, plateaux techniques, évènements indésirables sur un outil informatique partagé appelé le Répertoire Opérationnel des Ressources (ROR) afin d'évaluer la tension. Treize indicateurs d'activité sont collectés :

1. Nombre de patients actuellement en UHCD depuis plus de 24h
2. Nombre de patients depuis plus de 10h aux urgences
3. Nombre d'hospitalisations depuis 3 jours
4. Nombre de transferts pour manque de places depuis 24h
5. Durée moyenne d'attente depuis 2h
6. Moyenne de présence aux urgences
7. Nombre de passages au cours des dernières 24h
8. Nombre de patients de plus de 75 ans présents
9. Nombre de patients de moins d'un an présents
10. Nombre de CCMU 4 et 5 présents (patients graves)
11. Taux d'occupation (TO) ponctuel
12. Nombre de patients présents par infirmier
13. Nombre de patients présents par médecin

---

<sup>4</sup> Upper Control Limit



L'interprétation et le seuillage de ces indicateurs sont toujours en cours, le but étant de proposer un niveau d'alerte global qui peut se présenter selon 4 niveaux de tension : absence de tension, alerte, tension avérée, tension solidaire.

Enfin, ce que nous pouvons remarquer en général dans les travaux français : il existe un manque de validation d'indicateurs et de valorisation scientifique. Ces travaux demandent plus de collaboration entre chercheurs et praticiens. Nous passons maintenant à l'état de l'art sur l'anticipation de la tension dans les SU. Pour ce volet, les travaux français sont quasi-inexistants.

#### **I.4.2 Anticipation de la tension**

L'anticipation de la tension dans un SU est cruciale pour avoir une meilleure visibilité sur les besoins dans le futur et ainsi assurer une bonne gestion de ressources et une meilleure qualité de prise en charge. Anticiper la tension revient à faire des prévisions sur la demande des soins qui est variable puisque l'offre est représentée par les ressources et elles sont généralement fixes ou connues à l'avance. Cependant, comme nous l'avons mentionné dans le paragraphe (I.3.1), il n'y a pas de consensus autour d'une définition unique et universelle de la tension.

L'Annexe 2 montre dans la littérature plusieurs paramètres à anticiper pour cette demande : le nombre de visites, le taux d'occupation des lits, le nombre de patients en attente, etc. Toutefois, la plupart des travaux considèrent que le nombre de patient ponctuel est le paramètre qui représente le mieux cette demande. D'autre part, les prévisions se déroulent sur différents horizons (annuels, mensuels, journaliers, horaires) selon les besoins des applications ou les caractéristiques des paramètres à prédire (Lowthian et al., 2010).

L'Annexe 2 regroupe les différents travaux faits dans ce cadre et les classe selon : la chronologie, les méthodes appliquées et les résultats dégagés. Les méthodes de prévisions rencontrées sont : la régression linéaire, les réseaux de neurones artificiels, la modélisation des séries temporelles et la simulation à événements discrets. Chaque méthode a ses points forts, mais aussi des limites notables qui ne cernent pas toute la complexité de la tension dans les SU (Wiler et al., 2011). Ces travaux sont généralement appliqués sur le terrain et sont basés sur des données réelles obtenues dans un ou plusieurs établissements. Le Tableau I-1 montre les 3 indicateurs mesurant les écarts de prévision afin d'évaluer sa qualité.

**Tableau I-1 : Mesures employées pour évaluer la qualité de prévision**

	<b>Expression</b>
Racine de l'erreur quadratique moyenne (RMSE en anglais pour the Root Mean Square Error) <b>Objectif : à minimiser</b>	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1..N} (A_i - F_i)^2}$ <p> <i>A<sub>i</sub></i> : la valeur réelle  <i>F<sub>i</sub></i> : est la valeur prédite  <i>N</i> : le nombre total des mesures                 </p>
Coefficient de détermination (R <sup>2</sup> ) utilisé en régression <b>Objectif : à maximiser</b>	$R^2 = 1 - \frac{SCR}{SCT}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• SCR est la somme des carrés des résidus</li> <li>• SCT est la somme des carrés totaux</li> </ul>
Moyenne des erreurs absolues en pourcentage (MAPE en anglais pour the Mean Absolute Percentage Error) <b>Objectif : à minimiser</b>	$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1..N} \left  \frac{A_i - F_i}{A_i} \right $

### I.5 Positionnement thématique

Nous estimons qu'il manque dans les travaux français, une collaboration entre chercheurs et praticiens médicaux, d'où le non aboutissement à la phase de validation sur le terrain. Contrairement aux études américaines qui en tirent à la fois les avantages d'être validé et valorisé scientifiquement puisqu'elles étaient plus visibles sur la base médicale internationale PubMed<sup>5</sup>.

Nous avons deux explications pour le problème de validation en France : la première est que les études françaises sont plus novices dans ce domaine et donc valider les approches s'inscrit dans la suite logique des étapes, comme le cas des travaux d'anticipation quasi-inexistants. La deuxième explication est qu'en France, l'exploitation des données et l'instauration d'un système de suivi parallèle sont sujettes à divers contraintes réglementaires strictes.

<sup>5</sup> <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>

Malgré que notre projet hérite les mêmes objectifs des études françaises précédentes et s'inscrit surtout dans le même cadre de travail, nous n'avons pas trouvé dans les démarches françaises un support d'évaluation en temps réel. Renseigner les indicateurs 2 à 3 fois par jour ou utiliser à posteriori un outil de suivi qui nécessite des saisies supplémentaires ne sera pas réellement exploitable et opérationnel en cas de haute tension.

Toutes les mesures précédemment vues intègrent plusieurs paramètres. L'application de ces mesures pour un suivi en temps réel est difficilement applicable pour de nombreux SU car ils ne disposent pas forcément d'un SIH adapté qui capture les paramètres nécessaires. C'est pourquoi le TO trouve plus de succès en pratique puisqu'il est simple à élaborer malgré que NEDOCs et EDWIN soient les meilleures mesures en théorie. Ainsi, dire quelle mesure est meilleure n'est pas suffisant, car l'applicabilité dépend étroitement de la disponibilité des données.

D'autre part, nous soulignons que si tout au long de cette étude bibliographique d'indicateurs et mesures nous n'avons pas argumenté le choix des seuils, c'est parce que ceci n'était pas bien justifié dans les études correspondantes. Exemple pour le cas du score NEDOCs, il n'existe pas d'explication des seuils : 140 (surchargé) et 141 (gravement surchargé). Comment expliquer le passage brusque de ces seuils alors que c'est fortement lié à la perception des praticiens, la demande et le volume de la structure et c'est surtout fortement subjectif. Une autre question qui se pose : Est-ce que ces mesures américaines peuvent être appliquées en France et particulièrement aux SUP tenant compte des différences entre les deux systèmes de soins?

Concernant l'anticipation de la tension dans les SU, comme nous l'avons déjà vu, elle est quasi-inexistante dans les travaux français. Cependant, même dans les travaux d'anticipation américains, d'un côté l'influence des facteurs externes (périodes épidémiques, météo, vacances scolaires..) n'était pas exploitée pour ajuster les prévisions mais d'un autre côté, les SUP étaient exclus du fait qu'ils ont leurs propres caractéristiques et distributions.

Après cette étude bibliographique sur la thématique de notre recherche. Nous concluons qu'il n'existe pas actuellement en France un outil d'évaluation de tension validé ou des travaux comparatifs d'indicateurs proposés. Encore moins des travaux sur l'anticipation de la tension dans les SU pourtant des actions concrètes sont nécessaires face à ce phénomène. D'où le besoin urgent de proposer un système d'évaluation et d'anticipation de tension dans les SU en France

validé suite à la collaboration d'experts médicaux, chercheurs et informaticiens. Le projet HOST vient regrouper tous ces métiers pour améliorer les démarches précédemment prises et proposer des actions concrètes offrant plus de réactivité face à ce phénomène.

## **I.6 Conclusion**

Les SU sont souvent soumis à des états de tension contraignants pour le personnel médical comme pour les patients et engendrent des coûts financiers importants lorsqu'il s'agit de déclencher des plans d'urgence comme le plan blanc par exemple (MASS, 2006) ou plus récemment le dispositif ORSAN (Organisation de la Réponse du Système de Santé en Situations SANitaires exceptionnelles) (MASS, 2015).

Des efforts régionaux et nationaux visent à lutter contre la tension dans les SU. D'ailleurs, lors du huitième Congrès Urgences<sup>6</sup> en 2014, la ministre des Affaires sociales et de la Santé est allée à la rencontre des professionnels des SU et a parlé entre autres de nouveaux défis face à la tension et que 15M€ seront consacrés aux services sévèrement victimes de tension, afin de renforcer les équipes, de financer des appuis saisonniers et d'ouvrir des capacités d'accueil ponctuelles.

Afin d'atteindre une meilleure gestion et maîtrise de la tension dans les SU, nous allons étudier dans le chapitre suivant les approches qui sont à notre disposition pour atteindre cet objectif.

---

<sup>6</sup> [www.urgences-lecongres.org](http://www.urgences-lecongres.org)

## **II. CHAPITRE II. Approches et Outils de gestion de tension dans les systèmes de soin**

## **II.1 Introduction**

Afin d'améliorer les pratiques, d'anticiper les éventuelles crises et cas de tension, de réduire les dépenses et respecter les budgets de plus en plus serrés. Le secteur de la santé a fait appel au monde de l'ingénierie. Désormais, l'analogie avec le monde de l'industrie, fait que tout processus de soins peut être assimilé à une unité de production, mobilisant un personnel hétérogène de toutes spécialités et catégories. La collaboration de ces différents acteurs constitue l'élément clé de l'évolution du processus de soin dans un but commun : assurer la meilleure qualité de prise en charge possible aux patients en maximisant leur satisfaction et en réduisant les coûts. Evidemment, une couche d'expertise, technologie, sécurité est indispensable pour arriver à cette fin sans négliger l'aspect éthique et réglementaire. Ainsi, le monde de l'ingénierie vient épauler le monde de la santé pour adopter des démarches d'évaluation de performances ou encore de qualité, de planification et d'optimisation et de gestion de crise. D'ailleurs, nous parlons maintenant de l'ingénierie de la santé.

Dans cette section, nous allons développer les approches et outils de modélisation qui consistent à améliorer le pilotage de l'activité et la prise de décision face aux éventuels problèmes et dysfonctionnements menant aux états de tension dans les systèmes de soins. A cet effet, nous étudions, en premier lieu, les outils de modélisation et de simulation des flux appliqués au monde de la santé. En deuxième lieu, nous étudions les outils mis à disposition pour évaluer la performance et la qualité. En troisième lieu, nous étudions les approches de prévisions et leurs caractéristiques afin de pouvoir les appliquer dans le monde de la santé. En quatrième lieu, nous étudions les approches de gestion de ressources et de la planification des activités appliquées à ce secteur. Enfin nous proposons notre positionnement méthodologique en développant le choix des outils que nous allons adopter.

## **II.2 Modélisation et simulation des flux**

Le flux peut se présenter comme information, matière, personnel, finance et il peut être transformé, consommé ou évacué. Modéliser les flux permet de représenter graphiquement les frontières d'un organisme et ses différents niveaux d'activité, ensuite représenter les flux entrant, sortant, les sous-processus et leur enchaînement jusqu'à représenter quelques interactions. Le fait

de décomposer l'organisation en différents niveaux d'activité permet d'obtenir des sous-sections maîtrisables et permet de réduire la complexité de la modélisation globale.

D'autre part, la simulation est une activation virtuelle d'un système réel dans le temps permettant ainsi de visualiser son comportement dynamique, évaluer ses performances, prédire son comportement futur, tester virtuellement différents scénarios sans être amené à le faire dans la réalité (Law, 2006).

La modélisation et la simulation des flux sont souvent interconnectées, leur objectif est non seulement de comprendre le fonctionnement dans sa globalité mais permet en plus d'offrir un langage commun et un outil de pilotage et de suivi. Au-delà donc de leur fonction explicative, ces méthodes représentent souvent des supports incontournables d'aide à la décision et des outils d'évaluation et d'amélioration de la performance opérationnelle.

Parmi les méthodes de modélisation utilisées en santé, on trouve la méthode SADT (Structured Analysis and Design Technique) (Congram and Epelman, 1995) qui est une méthode statique, assurant grâce à une analyse fonctionnelle descendante la description d'un fonctionnement complexe donné via une description graphique par niveaux de plus en plus détaillée. La méthode SADT existe dans différentes applications en santé, modélisant le flux des patients dans le Bloc Opératoire (Chaabane, 2004) ou encore dans les SU (Oualidi et al., 2013).

Il existe d'autres modèles graphiques statiques en diagrammes de flux comme le modèle conceptuel de (Asplin et al., 2003) qui modélise les flux dans les SU et qui a été largement repris par la suite comme un langage commun. Ce modèle est constitué de trois niveaux « entrée-flux interne-sortie » visant à faire comprendre les différents flux entrants et sortants, les interactions entre ces différents niveaux mais surtout à mieux visualiser les causes de la tension afin de pouvoir développer des solutions potentielles.

Nous retrouvons dans le travail de (Daknou, 2011) une représentation différente des SU par un système multi-agent ouvert et dynamique où les patients et les ressources humaines sont représentés par des agents autonomes qui peuvent réagir aux changements et aux perturbations par le fait d'être proactifs et réactifs. Les atouts de ce système résident en grande partie dans son architecture distribuée et son aspect dynamique.

D'autre part, plusieurs travaux autour des systèmes de soin ont utilisé la simulation, qui permet grâce à des indicateurs de performances d'évaluer le système. le travail de (Jlassi, 2009) a particulièrement mis l'accent sur la modélisation et la simulation des flux logistiques des patients dans les SU. L'étude de cas était assurée par une simulation avec le logiciel Witness (Markt and Mayer, 1997). Le modèle Witness a été validé par les réseaux de files d'attentes comme méthode analytique. Une autre modélisation et simulation de flux a été proposée dans les SUP par (Ajmi et al., 2014), assurée par le logiciel Bonita software<sup>7</sup> où le régime normal et le régime transitoire (cas de tension) sont traités chacun à part.

La Simulation à Evénements Discrets (SED) a été aussi largement utilisée dans ce contexte. La SED permet de modéliser le fonctionnement d'un système comme une séquence d'événements discrets dans le temps où la réalisation d'un événement particulier comme l'arrivée ou le départ d'une ressource ou encore le démarrage ou la fin d'une tâche à un instant précis modifie l'état du système, cas des réseaux de file d'attente ou les réseaux de Petri.

La SED est assurée par différents logiciels, les plus populaires sont ARENA (Kelton et al., 2009) et WITNESS et la croissance rapide de la technologie des logiciels de simulation a créé de nombreuses nouvelles possibilités d'applications pour des implémentations de plus en plus complexes offrant ainsi des possibilités d'optimisation combinées à la simulation (Schriber and Brunner, 2005). D'ailleurs (Babulak and Wang, 2010) (Jun et al., 1999) (Jacobson et al., 2006) (Günel and Pidd, 2010) recensent les applications de la SED dans les systèmes de soins : les hôpitaux, les cliniques, les SU et les pharmacies.

La modélisation et la simulation des flux sont largement applicables au monde de la santé. Elles proposent une vue macro sur le fonctionnement permettant ainsi son étude sur différents niveaux.

### **II.3 L'évaluation dans les systèmes de soins**

L'évaluation dans les systèmes de soins comme tout autre secteur est cruciale pour évaluer la qualité du fonctionnement et traduire le degré de réalisation des objectifs définis. Ces objectifs sont plus ou moins précis et dépendent de la stratégie mise en place et la culture de l'organisation. Leur réalisation est contrainte par l'environnement du système et ses acteurs.

---

<sup>7</sup> <http://it.bonitasoft.com/>



C'est pourquoi évaluer la performance vise à identifier les points de forces et les points à améliorer. Ainsi, cerner les insuffisances permet d'agir là où une éventuelle défaillance existe pour assurer une démarche d'amélioration continue.

L'évaluation de la performance peut se faire sur différentes dimensions puisque chaque système étudié évolue sous des contraintes diverses parfois antagonistes (coûts, délais, degré de satisfaction, priorité de certaines tâches...), ainsi l'évaluation peut être monocritère via les indicateurs ou multicritère via différentes méthodes d'agrégation.

### **II.3.1 Les indicateurs comme outils d'évaluation**

Évaluer une performance, un état, un risque, etc. se fait par la modélisation mathématique grâce à une quantification par des métriques (ratios, scores, échelles...) appelés indicateurs. Les indicateurs sont utilisés dans presque tous les domaines comme des référentiels du fait qu'il synthétise un ensemble d'informations, offrant ainsi un support de communication commun entre profils hétérogènes (personnels, gestionnaires, scientifiques, politiques). Ils proposent une quantification précise d'un critère (rendement d'une machine, d'un employé, taux de service...).

Dans l'industrie par exemple, on parle d'Indicateurs Clefs de Performance (ICP) où un ICP est défini comme une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité, par rapport à une norme, un plan ou un objectif, déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise. (Pillet et al., 2011)

On note qu'il est très important que le formalisme d'un indicateur soit cohérent et simple de compréhension pour qu'il soit interprétable en étant le reflet effectif et direct d'une situation réelle et donc utile. En déduire un diagnostic pertinent permet d'agir, selon les objectifs et les contraintes, face à une situation donnée (régulation, changement de stratégie, demande de renfort, etc.). L'utilité d'un indicateur est aussi liée à la fréquence de son utilisation et à la réactivité.

L'une des problématiques étroitement liée au recours aux indicateurs est l'instauration des seuils. Et les seuils sont les valeurs limites au-delà desquelles certains effets et comportements du critère étudié changent. Le seuillage s'appuie généralement sur la théorie des probabilités et les statistiques d'une part et l'expertise humaine d'autre part.

Nous avons vu dans le chapitre précédent une panoplie d'indicateurs utilisés dans les SU pour mesurer l'offre et la demande afin d'en déduire, suite à un éventuel déséquilibre, un niveau de tension. Nous trouvons d'autres applications d'évaluation faisant appel aux indicateurs dans d'autres systèmes de soins. L'Annexe 3 synthétise pour différentes structures, les différents indicateurs élaborés dans les chantiers menés par l'ANAP qui regroupe depuis 2009 trois entités : le Groupement pour la Modernisation du Système d'Information Hospitalier (GMSIH), la Mission d'Appui à l'Investissement Hospitalier (MAINH) et enfin la Mission nationale d'Expertise et d'Audit Hospitaliers (MeaH).

L'Annexe 3 montre que les indicateurs de performance sont utilisés dans presque tous les établissements de santé et médico-sociaux. Sauf qu'ils doivent être standardisés et généralisés par la Haute Autorité de Santé (HAS). Cet objectif sera atteint progressivement et concernera tous les types d'activité : Médecine, Chirurgie, Obstétrique, Soins de Suite et de Rééducation, psychiatrie et hospitalisation à domicile, etc. (Gardel et al., 2009). Cette généralisation rencontre certaines contraintes évoqués par (Sheldon, 1998) et (Freeman, 2002) comme la réglementation, la concurrence, l'amélioration continue de la qualité, ou encore les incitations financières.

### **II.3.2 L'agrégation des indicateurs pour l'évaluation multicritère**

Quand nous disposons de plusieurs indicateurs pour porter un jugement global sur le fonctionnement d'un système complexe, une stratégie, un programme, ou une politique nous parlons d'évaluation multicritère. Plusieurs méthodes dites d'analyse multicritère, sont apparues depuis les années 60 (Figueira et al., 2005). En effet, l'intérêt de l'évaluation multicritère est de considérer un ensemble d'indicateurs hétérogènes (exprimés en unités différentes), parfois de natures conflictuelles, sans nécessairement les combiner en une fonction unique.

Prenons un exemple anodin « louer une maison ». Parmi les critères de choix : le loyer, la superficie, la proximité de commerces, la distance vers le lieu de travail, etc. A priori les critères : loyer et superficie sont de nature conflictuelle (on paie pour avoir plus de surface), de plus en fonction de la nature du quartier, les prix changent considérablement. Parmi plusieurs possibilités, le choix pourrait être difficile. Ainsi, les méthodes d'analyse multicritère sont un outil incontournable d'aide à la décision, le but n'étant pas de trouver un optimum, mais de s'approcher d'une solution de compromis.

Plusieurs méthodes de sélection, de tri et d'agrégation multicritère existent (Grabisch and Perny, 1999), cependant nous nous intéresserons à étudier l'agrégation pour l'évaluation multicritère subjective qui caractérise les applications des systèmes de soins. En effet, cette subjectivité est due au fait que l'évaluation dépend des objectifs et des stratégies des décideurs. Ce qui rend la tâche plus délicate car non seulement il faut trouver un compromis entre les différents indicateurs établis lors de l'agrégation mais il faut établir tout d'abord un compromis entre les différents avis.

### ***II.3.2.1 Méthodes classiques***

La méthode la plus classique est de combiner tous les indicateurs dans une métrique unique de synthèse par la pondération des indicateurs  $x_i$  entre eux en leur attribuant des poids relatifs  $p_i$ , chaque poids  $p_i$  détient son importance relativement à l'impact de l'indicateur  $x_i$ , comme le cas des coefficients de matières dans l'enseignement secondaire. Evidemment, face à la subjectivité d'un groupe de décideurs, une grande problématique s'impose ici : comment définir ces poids. On note que la métrique d'agrégation la plus classique est la moyenne pondérée.

Toutefois, il existe plusieurs méthodes empiriques et exploratoires d'analyse multicritère pour la pondération et le tri qui reposent en grande partie sur l'expertise et le jugement humain, comme les méthodes de sur-classement : ELECTRE (Roy, 1991) et PROMETHEE (Brans et al., 1986), les méthodes basées sur l'utilité MAUT (Keeney and Raiffa, 1993), la méthode Analytic Hierarchy Process (AHP) (Saaty, 1988) utilisée dans la prise de décision dans des applications de santé (Liberatore and Nydick, 2008), la méthode MACBETH (Bana e Costa et al., 2010).

Toutes ces approches ont le handicap de négliger l'inexactitude sur les données et leurs structures. En particulier, le fait que certains critères ne peuvent pas être mesurés sur une échelle ordinale. Par conséquent, il arrive souvent qu'une solution rationnelle du modèle mathématique soit calculée, mais pas nécessairement applicable aux problèmes réels (Rommelfanger, 1998).

### ***II.3.2.2 La logique floue***

La Logique Floue (LF) est une méthode d'agrégation multicritère, introduite par L.A Zadeh en 1965 (Zadeh, 1965). Elle traite des concepts imprécis qui relèvent de la subjectivité,

généralement pour des applications disposant d'une expertise humaine. En effet, la LF a l'avantage de représenter mathématiquement trois concepts d'incertitude (Sun et al., 1994) :

- *La Généralité* : cas d'un concept appliqué à une variété de situations.
- *L'ambiguïté* : quand un seul concept englobe plusieurs notions difficilement distinguables.
- *L'imprécision* : quand les seuils ne sont pas bien définis. En outre, elle permet d'intégrer des informations non quantifiables ou incomplètes, et des faits partiellement inconnus dans le modèle de décision (Kulak et al., 2005).

La LF a subi certaines réticences dans ses débuts et son champs d'application était restreint à la recherche et aux universitaires. Ensuite ses applications s'enchaînent (Bouchon-Meunier, 1990).

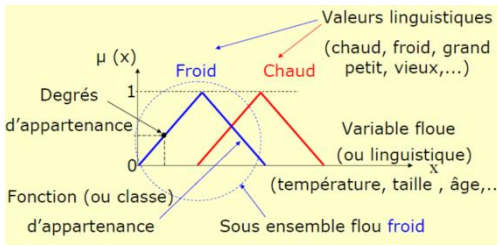
Les domaines concernés vont des produit de consommation du grand public (machine à laver, caméras, appareils photo, magnétoscopes, téléviseurs, etc.), jusqu'aux sciences humaines (psychologie, sociologie, gestion, etc.) en passant par les automatismes industriels, la robotique, l'intelligence artificielle, la reconnaissance des formes, sans oublier la météorologie et l'évaluation des risques sismiques (Tong-Tong, 1995). Le fait que le LF offre un grand potentiel d'évaluation multicritère, ceci a multiplié ses applications (Kahraman, 2008).

Cette théorie est basée sur le principe d'appartenance pondérée d'un élément à un ensemble. En effet, dans la théorie classique, un élément  $x$  d'un ensemble  $A$  peut être défini comme un membre de  $A$  ou non un membre de  $A$ . Cependant, dans la théorie des ensembles flous,  $x$  peut prendre un degré d'appartenance, une valeur comprise entre 0 et 1.

Cela permet à la LF de fournir une description plus fine de certains phénomènes et événements dans des systèmes complexes sans utilisation de modèles mathématiques compliqués. La souplesse par rapport à la logique classique dans la prise en compte des notions vagues, imprécises et incertaines, fait de la LF un outil adéquat dans la modélisation du langage et du raisonnement humain et dans celle des processus de décision (Tong-Tong, 1995).

En effet, dans un problème donné, l'application de la LF passe par 3 phases de traitement dans l'ordre, le Tableau II-1 explique plus en détail ces étapes nommées dans l'ordre par : la fuzzification → l'inférence → la défuzzification.

Tableau II-1 : Description des étapes du traitement flou

	Fuzzification	Inférence	Défuzzification												
<b>Principe</b>	<p>Attribuer à chaque variable d'entrée et de sortie des degrés d'appartenance aux sous-ensembles flous de son univers de discours.</p> <p>Chaque sous-ensemble flou A est caractérisé par sa fonction d'appartenance <math>\mu_A(X)</math> à valeur dans l'intervalle [0,1]</p> <p>Exemple :</p> 	<p>1. Identification des règles d'inférence possibles construisant ainsi un moteur d'Inférence : règles reliant variables d'entrée et variables de sortie via des opérateurs logiques (OU, ET...). Ces règles se présentent sous la forme :</p> <p><b>Si</b> (condition1) <b>ET/OU</b> (condition 2) <b>ET/OU</b> (condition3)...<b>Alors</b> Résultat</p> <p>2. Pour une configuration donnée du système :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Il faut définir les différentes combinaisons d'états des différentes variables. Chaque combinaison trouvée coïncidera avec l'une des règles du moteur d'Inférence. Ainsi nous leurs affectons un résultat sur les sorties.</li> <li>Nous appliquons ensuite une méthode d'Inférence : Un traitement sur les différentes règles afin d'aboutir à une surface de décision pour la configuration en question.</li> </ul>	<p>Associer à la surface de décision trouvée après l'Inférence une grandeur physique, un résultat exploitable et interprétable par l'utilisateur final.</p>												
<b>Méthodes</b>	<p>Les fonctions d'appartenance peuvent prendre plusieurs formats :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trapézoïdale</li> <li>- Triangulaire</li> <li>- Gaussienne</li> <li>- Sigmoïde ...</li> </ul> <p>Le seuillage doit être cohérent, il peut être intuitif (expertise humaine) ou basé sur une analyse statistique.</p>	<p>En effet, selon l'opérateur et selon s'il s'agit d'une condition ou d'un résultat, la méthode d'inférence applique le minimum, le maximum, le produit ou la somme, ainsi nous proposons les méthodes les plus populaires :</p> <table border="1" data-bbox="688 1133 1675 1295"> <thead> <tr> <th>Méthode</th> <th>Condition</th> <th>Résultat</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Min-Max</td> <td>ET → Min ; OU → MAX</td> <td>OU → Max ; Alors → Min</td> </tr> <tr> <td>Max-Prod</td> <td>ET → Min ; OU → MAX</td> <td>OU → Max ; Alors → Produit</td> </tr> <tr> <td>Somme-Prod</td> <td>ET → Produit ; OU → Somme</td> <td>OU → Somme ; Alors → Produit</td> </tr> </tbody> </table>	Méthode	Condition	Résultat	Min-Max	ET → Min ; OU → MAX	OU → Max ; Alors → Min	Max-Prod	ET → Min ; OU → MAX	OU → Max ; Alors → Produit	Somme-Prod	ET → Produit ; OU → Somme	OU → Somme ; Alors → Produit	<p>Les méthodes les plus populaires sont:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le maximum</li> <li>- La Moyenne des Maxima (MoM)</li> <li>- Le centre de gravité (CoG)</li> <li>- La somme pondérée</li> </ul>
Méthode	Condition	Résultat													
Min-Max	ET → Min ; OU → MAX	OU → Max ; Alors → Min													
Max-Prod	ET → Min ; OU → MAX	OU → Max ; Alors → Produit													
Somme-Prod	ET → Produit ; OU → Somme	OU → Somme ; Alors → Produit													

Afin d'expliquer la mise en œuvre de chacune des étapes du traitement flou, nous proposons un exemple introductif : évaluer le Niveau de Satisfaction (NS) d'un patient au SU via deux indicateurs : l'Attente (A) et la Qualité de Service (QoS).

Dans la phase de fuzzification, il faut définir les valeurs linguistiques (états) pour chaque variable linguistique, et l'univers de discours comme le montre le Tableau II-2. Ensuite, il faut définir les fonctions d'appartenance et les seuils qui sont mieux expliqués dans les Figure II-1, Figure II-2, Figure II-3. Nous avons choisi pour cet exemple des fonctions d'appartenance trapézoïdales.

**Tableau II-2 : Paramètres de l'exemple introductif**

	Variables linguistiques	Univers de discours	Valeurs linguistique
Les entrées	A	En heures (0-8+)	courte, moyenne, longue
	QoS	échelle de 0 à 10	faible, moyenne, bonne
sortie	NS	échelle de 0 à 10	faible, moyen, bon, excellent

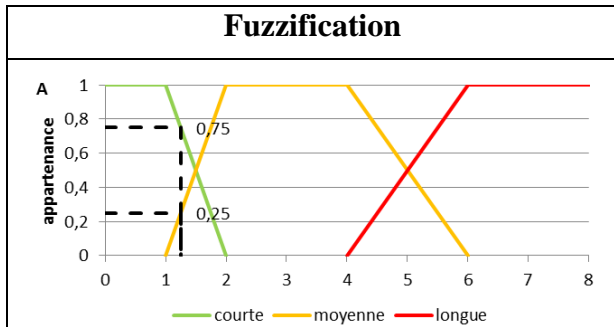
Dans la phase de l'inférence, il faut établir les règles d'inférence où on représente l'état de la sortie en fonction des entrées sous forme de matrice de décision comme le montre le Tableau II-4, exemple : SI A est «moyenne» ET QoS est « bonne » ALORS le NS est « excellent».

Ensuite agréger les conclusions dans un seul graphique, comme le montre la Figure II-4 en appliquant une méthode d'inférence : selon l'opérateur et selon s'il s'agit d'une condition ou d'un résultat, la méthode d'inférence applique le minimum, le maximum, le produit, la somme ou le produit aux variables. Dans cet exemple, nous avons appliqué la méthode (Min-Max) dite aussi méthode de Mamdani (Bouchon-Meunier, 1990). Il s'agit d'une méthode couramment utilisée dans la littérature, nous l'appliquons à notre exemple pour mettre en œuvre son exécution.

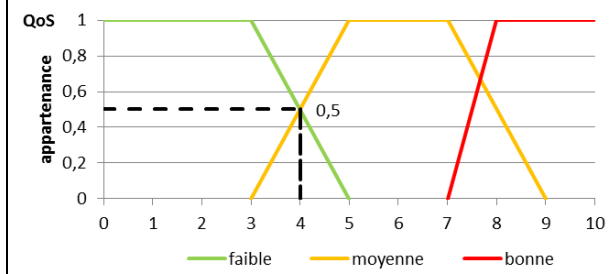
Enfin, lors de la défuzzification, l'agrégation par l'opérateur Max nous mène à obtenir une surface de décision (Figure II-5) qui rassemble toute l'information dégagée des conclusions. La méthode la plus utilisée pour dégager la valeur finale de la sortie est celle du centre de gravité  $g$  :

Dans cet exemple introductif, nous concluons que le patient a un NS égal à 4,38 sur une échelle de 0 à 10 en se basant sur son attente qui a durée 1h15mn et une qualité de prise en charge évaluée de 4 sur une échelle de 0 à 10.

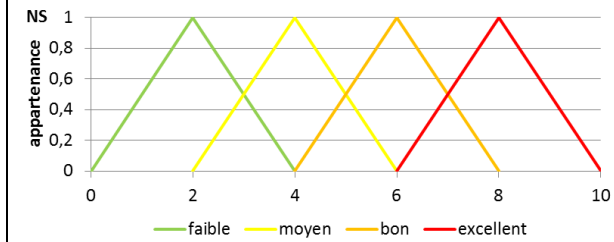
**Tableau II-3 : Description des étapes du traitement flou de l'exemple introductif**



**Figure II-1: Fuzzification de la variable d'entrée A** une durée d'attente de 1,25 h est dite courte à 75% et moyenne à 25%



**Figure II-2: Fuzzification de la variable d'entrée QoS** une évaluation de la QoS de 4/10 est dite faible à 50% et moyenne à 50%



**Figure II-3: Fuzzification de la sortie NS**

**Inférence**

A et QoS fuzzifiés → 4 combinaisons possibles :

- 1) A courte à 75% et QoS faible à 50%
- 2) A courte à 75% et QoS moyenne à 50%
- 3) A moyenne à 25% et QoS faible à 50%
- 4) A moyenne à 25% et QoS moyenne à 50%

**Tableau II-4 : Matrice de décision**

		QoS		
		faible	moyenne	bonne
A	courte	moyen (1)	bon (2)	excellent
	moyenne	faible (3)	moyen (4)	excellent
	longue	faible	faible	bon

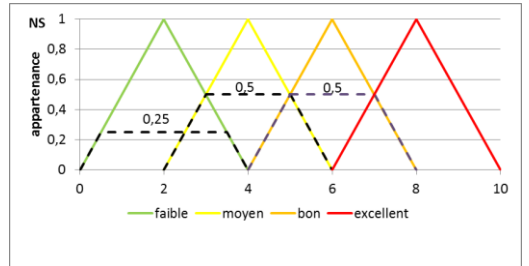
Traduites par la méthode de Mamdani (Min-Max):

- Min (1) = 0,50 → NS « moyen »
- Min (2) = 0,50 → NS « bon »
- Min (3) = 0,25 → NS « faible »
- Min (4) = 0,25 → NS « moyen »

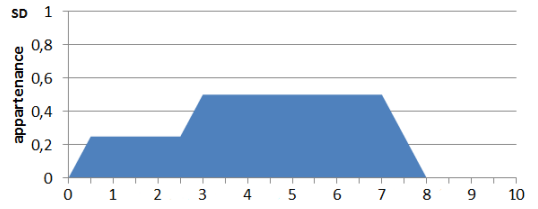
Agrégation par l'opérateur Max :

- NS « faible » à 25%
- NS « moyen » à 50%
- NS « bon » à 50%

**Défuzzification**



**Figure II-4: Agrégation des conclusions de la sortie NS par l'opérateur Max**



**Figure II-5 : Surface de décision finale**

$$g = \frac{\int x_i u(x_i)}{\int u(x_i)} = 4,38$$

Ainsi, la LF nous permet de gérer efficacement la subjectivité qui caractérise souvent les jugements d'experts sur un problème de décision (Lu et al., 2007), grâce à des termes linguistiques flous évaluant le mérite relatif des alternatives et des critères, comme «faible», «moyen», «très important», etc offrant un cadre d'évaluation flexible (Thomaidis et al., 2006).

Plusieurs applications de contrôle (Mahfouf et al., 2001) et d'évaluation multicritère subjective (Abbod et al., 2001) adoptant la LF existent dans le monde de la santé ; la LF est également une approche commune dans la médecine (Phuong and Kreinovich, 2001), le biomédical (Becker et al., 1997) et la qualité de service médical (Büyüközkan et al., 2011) ou encore l'évaluation des risques dans des établissement de soins (Yucel et al., 2012) (Smith and Eloff, 2000).

L'évaluation des performances et de la qualité de service est au cœur de l'activité médicale, qu'elle a entièrement sa place et s'inscrit dans une stratégie d'amélioration continue mais également dans une stratégie d'optimisation. Plusieurs approches et outils migrant du monde industriel vers le monde de la santé existent pour assurer cet objectif puisque dans ces temps de crises, les contraintes budgétaires, l'aspect concurrentiel et la pression médiatique ne sont plus des contraintes propres à l'industrie.

#### **II.4 Anticipation de la tension**

Anticiper la tension dans les SU, c'est anticiper le déséquilibre entre l'offre et la demande. Cependant comme l'offre est maîtrisable, elle est quasiment fixe ou préalablement connue, d'où anticiper la tension revient à faire des prévisions sur la demande.

En général, faire des prévisions sur la demande conditionne l'optimisation afin d'approcher un approvisionnement de ressources optimal d'une part mais donne une marge de flexibilité et réactivité face aux éventuelles hausses ou baisses inhabituelles de cette demande. Ainsi faire des prévisions de la demande de soin est aussi indispensable pour assurer la bonne gestion de l'activité et les risques dans un SU, car une éventuelle hausse anormale de la demande peut y mettre le chaos si les ressources nécessaires ne sont pas adéquates ou disponibles. Cependant, la prévision de la demande est essentiellement connue dans le secteur de la grande consommation où les délais de livraisons sont restreints à quelques jours donc prévoir pour savoir dimensionner



son stock est inévitable face aux deux grands risques : la perte de la clientèle et la dégradation de l'image de marque (Bourbonnais and Usunier, 2007).

Toute étude prévisionnelle est basée sur l'analyse des données d'historique afin de déterminer leurs caractéristiques statistiques (tendance, saisonnalité, etc.). Cet historique est représentatif de ce que l'on cherche à prévoir. Plusieurs méthodes de prévision existent :

- Qualitatives : basées sur les avis d'experts (subjectivité)
- Basées sur l'analyse des Séries Chronologiques (SC): se basent sur l'extrapolation des données historiques dans le futur.
- Causales: basées sur d'autres facteurs corrélés à la chronique étudiée comme le cas de la Régression linéaire.
- Basées sur la simulation : Simulent le système étudié (exemple : habitudes clientèles)

Nous détaillons essentiellement dans la suite les méthodes basées sur l'analyse des SC.

#### **II.4.1 Séries chronologiques (SC)**

Une Série Chronologique (SC), dite aussi série temporelle ou encore chronique est une série de mesures prises successivement à des intervalles de temps réguliers :  $X_1, X_2, X_3...X_n$ . Ces mesures reflètent l'évolution d'un phénomène  $X$  dans le temps construisant ainsi la SC de terme général  $X_t$  avec  $t=1..n$ . Le fait de l'analyser permet de comprendre l'évolution du phénomène étudié et d'établir des prévisions (Bourbonnais and Terraza, 1998).

D'autre part, la représentation graphique de  $X_t$  dans le temps permet de déceler les particularités de la série (tendance, saisonnalité, pics ou creux) et c'est généralement le premier réflexe du prévisionniste. Afin d'offrir une meilleure visualisation, il est possible d'appliquer des filtres (logarithmique, moyenne mobile..) aux valeurs brutes de  $X_t$ .

Une SC est caractérisée par quatre composantes qui peuvent éventuellement se combiner (Bourbonnais and Terraza, 1998) :

- La Tendence ( $T_t$ ) qui est une variation lente en fonction du temps traduisant une allure générale de la progression du phénomène étudié (hausse ou baisse).
- Le Cycle ( $C_t$ ) qui est un mouvement caractérisé par la périodicité et par la cyclicité (phases croissantes et décroissantes avec des amplitudes régulières), il est souvent combiné avec la tendance en une seule composante : l'extra-saisonnalité ( $E_t$ ).

- La composante Saisonnière ( $S_t$ ) qui est une variation régulière selon un horizon fixe (semaine, mois, an, etc.). Elle peut résulter de plein de facteurs comme le climat, les habitudes sociologiques, les périodes festives, etc.
- La composante Résiduelle ( $R_t$ ) correspond à des mouvements accidentels généralement imprévisibles (catastrophes naturelles, grèves...). Leur allure est stable autour de la moyenne.

De plus, une SC peut être stationnaire ou non stationnaire : elle est dite stationnaire quand le niveau moyen des observations est constant, c'est-à-dire la série a une évolution hors tendance. Sinon elle est dite non stationnaire. Cette nature peut également conditionner le choix de la méthode de prévision à appliquer. Nous développerons dans la suite les caractéristiques et méthodes d'estimation des deux composantes fondamentales : la tendance et la saisonnalité.

#### ***II.4.1.1 La tendance***

Quand nous observons une représentation graphique d'une SC, nous pouvons en déduire intuitivement une tendance. Cependant, il existe des méthodes de la statistique pour l'estimer avec des précisions relatives. La méthode la plus commune est la régression qui permet de donner une estimation grâce à un polynôme de la forme :

$$X_t = a_0 + a_1t + a_2t^2 + \dots + a_nt^n$$

Les coefficients  $a_i$  sont calculés par la méthode des Moindres Carrés Ordinaires (MCO). Nous appelons cette méthode « ajustement linéaire » quand la tendance est considérée linéaire et le polynôme retenu est de degré 1. Une autre méthode est souvent utilisée pour lisser la courbe et proposer une tendance, c'est la Moyenne Mobile (MM) qui permet d'amortir les fluctuations. Cependant, la MM est souvent utilisée dans des travaux purement descriptifs du fait que cette méthode ne permet pas d'extrapoler des données dans le futur, et elle a le défaut de réduire le nombre de mesures traitées. Une fois la tendance de la SC déterminée, l'étape suivante est généralement de déceler la saisonnalité en calculant les coefficients saisonniers.

#### ***II.4.1.2 La saisonnalité***

Un mouvement saisonnier est répétitif à l'identique selon un horizon donné (jours, mois, trimestre, années). Une saisonnalité peut être facilement détectable sur une courbe représentative de la SC étudiée par la visualisation de ses mouvements répétitifs et périodiques. Mais il existe

également plusieurs tests analytiques permettant de la détecter, le test de Fisher dit encore F-test est l'un des plus commun (Sutradhar et al., 1995) (Bourbonnais and Terraza, 1998).

Décélérer la saisonnalité peut encore être réalisé par l'analyse graphique de la Fonction d'Autocorrélation (ACF) qui est une modélisation mathématique de corrélation entre une SC et elle-même à différents décalages dans le temps (Bourbonnais and Usunier, 2007). C'est la représentation graphique du coefficient d'autocorrélation  $r_k$  d'ordre  $k$  qui permet de déceler des liaisons internes à la série à travers les valeurs de la fonction d'autocorrélation,  $r_k$  est donné par :

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1}^n (x_t - \bar{x}_1)(x_{t-k} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{t=k+1}^n (x_t - \bar{x}_1)^2 \sum_{t=k+1}^n (x_{t-k} - \bar{x}_2)^2}}$$

Avec 
$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n-k} \sum_{t=k+1}^n x_t \quad \text{et} \quad \bar{x}_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{t=k+1}^n x_{t-k}$$

D'autre part, modéliser la saisonnalité se fait par le calcul de coefficients saisonniers. C'est le cas dans certaines méthodes (HoltWinters ou encore SARIMA) que nous verrons plus en détails dans le paragraphe (II.4.2.2). De plus, les coefficients ne sont pas forcément fixes malgré que ce mouvement soit identique, du fait que dans certains cas de figures, le phénomène étudié incorpore des changements comportementaux présentant un bruit dans la saisonnalité fixe. Dans ces études nous parlons de coefficients glissants. Par exemple, le changement de la température d'une année à une autre pourrait présenter un facteur externe changeant les comportements en consommation et ainsi les coefficients saisonniers changent.

#### II.4.2 Méthodes de prévision basées sur l'étude des SC

Les méthodes les plus simples à mettre en œuvre sont les méthodes basées sur le lissage exponentiel introduites par (Holt, 1975) (Winters, 1960) et (Brown, 1962) qui traitent que des séries stationnaires.

D'autres méthodes plus complexes sont apparues par la suite proposés par Box et Jenkins (Box and Jenkins, 1976), ces modèles ont résolu plusieurs problèmes de prévision pour des séries chronologiques pas forcément stationnaires où un point de la série dépend fortement des observations antérieures et de leurs erreurs.

### II.4.2.1 Méthodes basée sur le lissage exponentiel

Ces méthodes sont caractérisées par le fait de donner plus d'importance à l'historique récent en attribuant des poids plus importants aux informations récentes. Chaque valeur estimée est une combinaison linéaire de toutes les réalisations passées où les coefficients varient en exponentielle décroissante en fonction de l'ancienneté de l'information. Le paramètre réglable est la vitesse de décroissance de cette exponentielle. Autrement dit, on choisit dans quelle mesure on veut préserver ou oublier les informations passées. Le principe de base du lissage propose une valeur estimée  $\hat{x}_t$  selon l'équation suivante :

$$\hat{x}_t = \hat{x}_{t-1} - \alpha (x_t - \hat{x}_{t-1})$$

Soit 
$$\hat{x}_t = \alpha x_t + (1 - \alpha) \hat{x}_{t-1}$$

Avec  $\hat{x}_{t-1}$  : La dernière valeur lissée

$\alpha$  : Coefficient de lissage compris entre 0 et 1

$x_t$  : La réalisation à l'instant t

Et si on développe davantage cette relation suivant le même principe aux instants (t-1, t-2, t-3, ..., 0), nous obtenons :

$$S_t = \hat{x}_t = \alpha x_t + \alpha(1 - \alpha) x_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 x_{t-2} + \dots + \alpha(1 - \alpha)^{n-1} x_{t-n-1} + \alpha(1 - \alpha)^n x_0$$

Soit 
$$S_n = \sum_{k=0}^n \alpha(1 - \alpha)^k * x_{n-k}$$

En effet, il existe trois méthodes basiques (Bourbonnais and Terraza, 1998) :

- *Le Lissage Exponentiel Simple (LES)* : appliquée pour des SC sans tendance, très limitée pour la prévision vu que d'une part, des SC sans tendance sont très rares mais d'autre part les valeurs prédites sont constantes et égales.
- *Le Lissage Exponentiel Double (LED)* : appliquée à des SC du type  $x_t = a_{0t} + a_{1t}t$  et permet d'intégrer la tendance contrairement au LES. Son principe est d'effectuer deux LES sur les données, avec une seule et même constante de lissage.
- *La méthode de Holt* : est une amélioration du LED mais repose sur deux lissages distincts. Le premier lissage est sur la moyenne  $a_{0t}$  avec un coefficient de lissage  $\alpha$  et le deuxième est sur la tendance  $a_{1t}$  avec un coefficient de lissage  $\beta$ , les coefficients de lissage sont compris entre 0 et 1 et dans le cas où  $\alpha = \beta$  le modèle est ramené au LED de Brown. Le problème d'un LED en général est que la prévision est toujours victime de retard.

Toutefois, une quatrième méthode basée sur le lissage exponentiel est plus utilisée dans la pratique du fait qu'elle supporte la tendance et la saisonnalité, c'est la méthode de *Holt Winters* (HW). Cette dernière rajoute un troisième lissage pour la saisonnalité par rapport à la méthode Holt et calcule des coefficients de saisonnalité. Trois lissages distincts sont effectués :

- $\alpha$  pour le lissage de la moyenne tel que :  $a_{0t} = \alpha (x_t/S_{t-p}) + (1 - \alpha) (a_{0t-1} - a_{1t-1})$
- $\beta$  pour le lissage de la tendance tel que :  $a_{1t} = \beta(a_{0t} - a_{0t-1}) + (1 - \beta) a_{1t-1}$
- $\gamma$  pour le lissage de la saisonnalité tel que :  $S_t = \gamma(x_t/a_{0t}) + (1 - \gamma)S_{t-p}$

Avec :  $\alpha, \beta, \gamma$  coefficients de lissage compris entre 0 et 1

$x_t$  : La réalisation à l'instant t

$S_t$  : Coefficient saisonnier à l'instant t

p : période des données (exemple p=12 pour une périodicité mensuelle)

L'initialisation :

$$a_{0t} = \bar{x}; a_{1t} = 0; S_t = \frac{x_t}{\bar{x}} \quad \text{pour } t = 1 \dots p$$

$\bar{x}$  étant la moyenne des p premières réalisations  $x_t$

La prévision à l'horizon  $h$  est égale à:

$$\hat{x}_{t+h} = (a_{0t} + a_{1t} \times h) S_{t-p+h} \text{ si } 1 \leq h \leq p$$

$$\hat{x}_{t+h} = (a_{0t} + a_{1t} \times h) S_{t-p+2h} \text{ si } p + 1 \leq h \leq 2p$$

#### **II.4.2.2 Modèles de Box-Jenkins**

Les modèles de Box-Jenkins (Box and Jenkins, 1976), ont révolutionné le monde de la prévision du fait qu'ils permettent de représenter la majorité des SC aléatoires. Ils proposent dans leurs modèles soit des processus à moyennes mobiles (MM) soit des processus autorégressifs (AR), ou encore une combinaison des deux types de processus. Ce qui a permis de générer plusieurs variantes de ces modèles.

Les plus populaires sont les processus ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) qui sont classifiés comme modèle ARIMA(p, d, q) basé sur une SC  $X_t$  dans laquelle : p est le nombre de termes autorégressifs, d est le nombre de différenciations subi par la série  $X_t$  et q est le nombre de termes de moyennes mobiles. La différenciation de la série « d fois » sert à rendre la SC stationnaire dans le cas non stationnaire.

Nous utilisons l'opérateur retard B défini comme suit :  $B(*_t) = *_{t-1}$

Ainsi  $B^j(*_t) = *_{t-j}$  avec  $j \in Z$  ; de plus si  $j=0$  alors  $B^0 = I$  (opérateur d'identité)

L'équation générale du modèle est :

$$\underbrace{(I - \Phi_1 \cdot B - \Phi_2 \cdot B^2 - \dots - \Phi_p \cdot B^p)}_{p\text{-termes autorégressifs}} \cdot \underbrace{\nabla^d(B)}_{d\text{-différenciations}} X_t = \underbrace{(I - \Psi_1 \cdot B - \Psi_2 \cdot B^2 - \dots - \Psi_q \cdot B^q)}_{q\text{-termes de Moyennes mobiles}} \epsilon_t$$

Equivalente à :

$$\Phi_p(B) \nabla^d(B) X_t = \Psi_q(B) \epsilon_t$$

Avec :

- $\Phi_p(B)$  : Opérateur d'Autorégression.
- $\Psi_q(B)$  : Opérateur de Moyennes mobiles.
- $\nabla^d(B) = (1 - B)^d$  : Opérateur de différenciation d'ordre d.
- $\epsilon_t$  : est un bruit blanc de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ .

En effet, les processus autorégressifs stipulent qu'on peut prédire chaque point de la série par une somme pondérée des observations précédentes ajustée par un terme d'erreur. Par contre, les processus de moyenne mobile stipulent qu'on peut prédire chaque point de la série par une somme pondérée des erreurs entachant les observations précédentes, ajustée par sa propre erreur. Concernant les processus d'intégration basés sur la différenciation, ils stipulent que tout point de la série possède une différence constante avec l'observation précédente. Ainsi, le premier ordre de différenciation obéit à l'équation :

$$X_t - X_{t-1} = X_t - B \cdot X_t = (1 - B) \cdot X_t = \nabla^1 \cdot X_t$$

Pour le deuxième ordre, nous traitons les différences des différences :

$$(X_t - X_{t-1}) - (X_{t-1} - X_{t-2}) = X_t - 2 \cdot X_{t-1} + X_{t-2} = (1 - B)^2 \cdot X_t = \nabla^2 \cdot X_t$$

Et ainsi de suite. Cependant, pour des études de cas réels,  $d = 1, 2$  ou  $3$  (au maximum).

Les processus ARIMA sont génériques et très présents dans les séries économiques. Pour des séries chronologiques possédant une composante saisonnière (répétition du phénomène en question chaque s observations), les processus ARIMA ont été généralisés pour donner naissance

aux modèles SARIMA (Seasonal ARIMA). Exemple de périodicité : mensuelles  $s = 12$  (12/1an) et trimestrielle  $s = 4$  (4/1 an). La généralisation des ARIMA en SARIMA obéit en plus à un opérateur de différenciation saisonnier  $1 - B^s$  où  $s$  est la période. Les SARIMA sont étiquetés SARIMA(p, d, q)(sp, sd, sq)<sub>s</sub>, ils obéissent à l'équation suivante :

$$\Phi_p(B)\theta_{sp}(B^s)\nabla^d(B)\nabla^{sd}(B^s)X_t = \Psi_q(B)\omega_{sq}(B^s)\epsilon_t$$

Avec :

- $\theta_{sp}(B^s)$  : Opérateur saisonnier d'Autorégression.
- $\omega_{sq}(B^s)$  : Opérateur saisonnier de Moyennes mobiles.
- $\nabla^{sd}(B^s) = (1 - B^s)^{sd}$  : Opérateur saisonnier de différenciation.
- $\epsilon_t$  : est un bruit blanc de moyenne nulle et de variance  $\sigma^2$ .

Par ailleurs, nous pouvons rajouter un vecteur de variables externes  $Y$  à la modélisation SARIMA (aussi appelé régresseur). De cette façon, le modèle le plus général est défini par SARIMAX (Seasonal ARIMA with eXogenous input) étiqueté comme SARIMAX(p, d, q)(sp, sd, sq)<sub>s</sub>. Il est défini par l'équation suivante :

$$\Phi_p(B)\theta_{sp}(B^s)[\nabla^d(B)\nabla^{sd}(B^s)(X_t - \sum_{i=1}^r c_i Y_i)] = \Psi_q(B)\omega_{sq}(B^s)\epsilon_t$$

Avec  $c_i$  : les coefficients de régression.

Nous avons abordé dans cette partie les méthodes de prévision basées sur l'étude des SC. Maintenant nous passons à un autre volet d'approches et outils à étudier dans le cadre de la gestion de la tension dans les systèmes de soins : la gestion des ressources et la planification des activités, qui présente un moyen supplémentaire de combattre la tension.

## II.5 Gestion des ressources et planification des activités

La gestion des ressources et la planification connues sous la notion de l'ordonnancement est le fait de planifier et de donner un ordre chronologique à des tâches (activité élémentaire) dans un processus afin de réaliser une activité à plusieurs étapes, tout en utilisant au mieux les ressources disponibles (main d'œuvre, machines, énergie, moyens de transport...). Généralement ces ressources souffrent d'une insuffisance manifeste. D'autre part, ce processus évolue sous des contraintes diverses (coûts, délais, stock, priorité de certaines tâches...), ce qui rend

l'ordonnancement objet d'une problématique combinatoire de complexité NP, parfois difficile à résoudre d'une façon optimale sur le plan pratique.

En effet, l'ordonnancement a envahi presque tous les domaines car il a prouvé ses avantages, en optimisant le fonctionnement des processus et augmentant leur productivité. Il est essentiellement appliqué dans le monde de l'industrie (ordonnancement des ateliers), mais aussi dans l'informatique (ordonnancement des process dans les systèmes d'exploitation), ou encore la construction (suivi de projets). Plusieurs méthodes d'ordonnancement existent, chaque méthode a ses spécificités. Généralement nous les classons selon la nature de la solution (exacte ou approchée). L'ordonnancement est couramment utilisé chez les industriels qui cherchent à minimiser les coûts de fabrication et augmenter la productivité. La question qui se pose aujourd'hui : est ce que nous pouvons parler d'ordonnancement dans les systèmes de soin?

Si nous analysons les conditions nécessaires pour qu'un système soit candidat à l'ordonnancement, il suffit que ce dernier propose des processus regroupant chacun une suite d'étapes visant une fonction objectif à optimiser (maximisation de la qualité de prise en charge, la satisfaction des patients et la réduction des coûts), une production finale (la production des soins). Chaque processus nécessite une ou plusieurs ressources humaines (médecins, infirmières, anesthésistes, brancardiers...) et matérielles (salles opératoires, salles d'hospitalisation, matériel médical, imagerie, radiologie..) qui peuvent être partagées dans un environnement commun. La progression du processus est faite sous des contraintes (délais, coût, réglementation).

Face à cette description transposable à chaque système de soin, nous trouvons tous les paramètres nécessaires à un problème d'ordonnancement et la réponse donc est « oui, les systèmes de soins sont des bons candidats aux problèmes d'ordonnancement ».

Plusieurs travaux dans le Bloc Opératoire (BO) ont fait des analogies avec les ateliers et ont utilisé des heuristiques (Chaabane, 2004) (Saadani et al., 2006), les algorithmes génétiques (Conforti et al., 2010), (Chandoul et al., 2012). D'autres travaux ont eu recours à la programmation par contraintes (Hanset et al., 2010).

Pour l'Hospitalisation à Domicile (HAD), (Ben Bachouch et al., 2010) ont étudié comment affecter les tâches et équilibrer la charge de travail des infirmières. Le modèle mathématique



proposé prend en compte la disponibilité des praticiens, leurs compétences et les qualifications exigées par les tâches. Ils ont résolu le problème d'affectation grâce à la programmation linéaire et l'ordonnancement grâce au solveur LINGO de LINDO<sup>8</sup>.

Dans le SU, (Daknou, 2011) avait pour objectif de minimiser le temps d'attente des patients et minimiser les coûts tout en respectant la qualité des soins. L'auteur propose un ordonnancement réactif à 3 phases (Ordonnancement-Insertion-Réordonnancement) intégré à un Système Multi-Agents (SMA) appelé 3P-RSA, dans lequel des agents ordonnanceurs affectent chaque tâche médicale au personnel médical exigé avec les compétences demandées. L'ordonnancement est basé sur l'algorithme de liste qui prend en compte les priorités attribuées aux tâches.

L'ordonnancement n'est plus restreint au monde de l'industrie. Désormais, le monde de la santé a également besoin d'optimiser son fonctionnement afin de mieux atteindre ses objectifs en s'appuyant sur le monde de l'ingénierie. Dans le paragraphe suivant, nous précisons les méthodes que nous allons adopter et justifions leur choix.

## **II.6 Positionnement méthodologique**

Pour l'évaluation nous allons modéliser la demande grâce à des indicateurs de performances et de suivi basés non seulement sur le nombre de patients présents dans le service mais également sur la DP, les longues attentes, le nombre de patients en UHCD. Le but de notre travail est aussi de proposer une démarche générique transposable à n'importe quel SU et de fournir une méthode de seuillage transparente et générique, car beaucoup d'études précédentes excluent les SUP.

D'autre part, nous voulons visualiser la tension sous différents angles et secteurs dans le service afin de proposer dans un second temps des actions correctives adéquates. De plus, nous allons proposer un moteur flou pour l'agrégation multicritère afin d'éviter les seuils figés et assurer un meilleur compromis entre l'analyse statistique et l'expertise humaine. Afin de répondre au mieux aux exigences du personnel médical et proposer un outil performant sur le terrain, l'élaboration du moteur d'inférence sera assurée en collaboration avec les praticiens.

Nous appliquons les méthodes HW, SARIMA et SARIMAX supportant la saisonnalité de la demande dans le SUP. Elles seront appliquées à différents horizons pour anticiper le nombre de

---

<sup>8</sup> <http://www.lindo.com/>

patients. Ainsi, nous procédons à une étude comparative pour en garder la meilleure performance à chaque horizon. Le choix de SARIMAX en particulier est motivé par l'intégration de la composante externe qui dans notre cas modélisera l'impact des paramètres (météo, vacances scolaires et périodes épidémiques). Le choix de l'horizon est motivé par la nature de l'activité et par le besoin exprimé par les praticiens.

Concernant la partie gestion de ressources et planification de l'activité, elle sera traitée sans prendre en compte l'affectation de ressources comme une contrainte, puisque une autre thèse complémentaire à notre étude traitera en détail cet axe et améliorera cette hypothèse. Nous allons classer les patients selon un ordre de priorité respectant des règles de bonnes pratiques médicales. De point de vue SU, l'objectif est de les classer selon un ordre de priorité permettant aux MU de savoir directement qui doit être traité en premier. De point de vue patient, l'objectif est de maximiser la satisfaction des patients (minimiser les temps d'attente pour le premier examen et les longues DP en général) mais c'est également une façon de libérer au plus vite le service, donc alléger au plus vite la charge aux praticiens.

## **II.7 Conclusion**

Le cerveau humain a ses limites de traitement et de réactivité quand il se trouve face au défi de gérer et interpréter un grand volume d'informations dans des délais relativement courts. L'appui des outils de l'ingénierie et de l'informatique est maintenant indispensable dans le secteur de la santé. Nous avons abordé dans ce chapitre des méthodes et approches appliquées dans des axes de recherche porteurs touchant directement ou indirectement tous les systèmes de soins victimes d'états de tensions.

L'interaction entre ces différents axes à savoir : la modélisation des flux, l'évaluation des performances, la gestion des ressources et la planification des activités ou encore la gestion des risques en systèmes de soin est évidente. En effet, chaque thème fait appel aux autres et ils sont tous complémentaires. Avoir une bonne visibilité sur l'ensemble de ces axes, permet d'assurer un meilleur pilotage de l'activité afin d'éviter les états de tension.

### **III. CHAPITRE III. Identification et modélisation floue des Indicateurs de tension**

### III.1 Introduction

Rares sont les études sur l'évaluation de la tension dans les SU qui se sont basées sur la Durée de Passage (DP). De plus aucun travail n'a séparé les patients de l'USE de ceux de l'UHCD. Pourtant en se référant aux avis des experts ainsi qu'aux données, il paraît plus judicieux de séparer les deux populations afin de mieux cerner ce phénomène car les caractéristiques cliniques et organisationnelles dans ces deux zones sont différentes.

A cet effet, nous allons aborder la définition et la formulation de trois indicateurs clés de la tension, pour proposer après une approche multicritère basée sur la LF pour évaluer la tension en les agréant (Chandoul et al., 2013) comme le montre le schéma illustratif de la Figure III-1. D'autre part, chaque indicateur en soi reflète une dimension de la tension et peut être suivi à part.

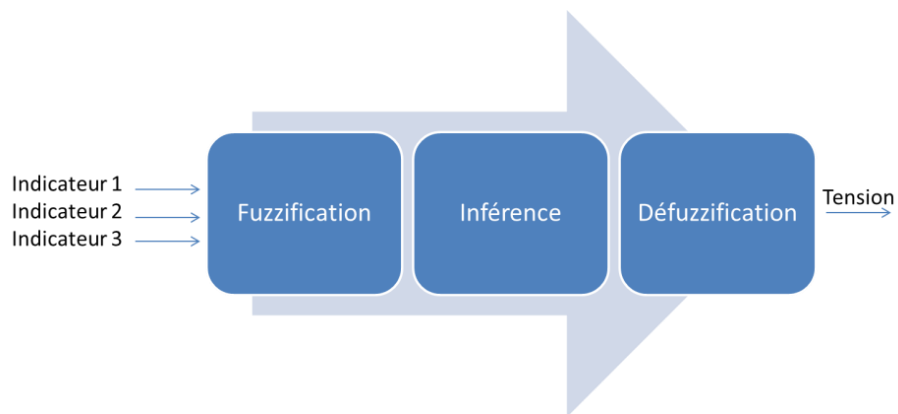


Figure III-1: Schéma illustratif de l'approche floue

### III.2 Indicateurs modélisant la tension

Certes, dénombrer les patients dans le SU est déjà un premier pas pour visualiser le volume occupé et l'engorgement du service, mais suivre en temps réel l'avancement des différents traitements est plus fin pour évaluer la charge de soin restante à un instant  $t$ . Afin d'éviter d'être limité à la présence physique des patients, car un TO élevé (Annexe 1) ne signifie pas nécessairement qu'il y a une forte demande de la charge de soin, nous avons choisi d'affecter à chaque patient de l'USE une sorte de compteur temporel qui se déclenche dès son entrée au service comme le montre le schéma illustratif de la Figure III-2.



**Figure III-2 : Schéma illustratif du suivi de l'avancement des traitements pour les patients de l'USE**

D'autre part, nous affectons pour chaque patient une Durée de Passage Prévisionnelle (DPP) dans un objectif que les praticiens font de leur mieux pour ne pas la dépasser. Le calcul de cette DPP obéit à un protocole générée par une étude statistique des DP dans l'USE que nous allons développer dans le paragraphe (III.2.1.1).

Quant aux patients de l'UHCD, ils seront seulement dénombrés puisqu'ils représentent que 20% des patients et qu'ils ne représentent pas les vrais responsables de la tension, contrairement aux patients de l'USE. De plus, les DP dans l'UHCD sont fortement dispersées puisque elles peuvent parfois dépasser les 24h malgré qu'il s'agisse de la durée maximale autorisée tandis que les DP dans l'USE ne dépassent généralement pas 8h.

Nous aurons donc deux catégories d'indicateurs : d'une part, les indicateurs spécifiques à un patient donné. Ils sont propres au suivi de la prise en charge d'un seul patient dans l'USE. Ils nous permettent de modéliser l'avancement d'un traitement et de proposer une dimension de qualité de service supplémentaire à l'échelle du patient. Puis, nous aurons d'autre part, les indicateurs généraux représentés par trois indicateurs construits sur la base des indicateurs spécifiques des patients. Ils serviront d'indicateurs d'entrées au moteur de calcul flou.

Notre démarche est décrite via l'algorithme de calcul d'indicateurs ci-dessous qui fonctionne en temps réel et propose ses calculs pour chaque configuration à un instant  $t$  donné. Les étapes intermédiaires seront expliquées dans les paragraphes qui suivent.

### Algorithme III-1 : Algorithme de calcul d'indicateurs

Etape 1 : initialisation (date, heure, minutes) pour définir l'instant t

Etape 2 : chargement des dossiers patients présents dans le service à l'instant t dans les zones USE et UHCD

- $NC_t$ : nombre de patients en USE à l'instant t
- $NH_t$ : nombre de patients en UHCD à l'instant t

Etape 3 : mise à jour des indicateurs temporels pour les patients de l'USE à l'instant t :

Si ( $NC_t \neq 0$ )

Pour chaque patient i de 1 à  $NC_t$  faire

o Paramètres :

- $b_i$ : instant d'entrée du patient i au SUP
- $a_{i,t}$ : variable booléenne (=1) si le patient i n'a pas encore eu sa PPC à l'instant t et (= 0) sinon
- $m_{i,t}$ : diagnostic du patient i à l'instant t
- $e_{i,t}$ : nombre d'examens prescrits du patient i à l'instant t

o Calcul des durées :

- $D_{i,t}$ : durée réelle passée dans le service du patient i à l'instant t (exprimée en minutes),

$$D_{i,t} = t - b_i$$

- $DPP_{i,t}$ : Durée de Passage Prévisionnelle du patient i à l'instant t (paragraphe III.2.1.1) (exprimée en minutes),

$$DPP_{i,t} = \text{TableDesDP} [m_{i,t}, e_{i,t}]$$

o Calcul des indicateurs spécifiques au patient i à l'instant t :

- $CR_{i,t}$ : Charge Restante du patient i à l'instant t selon la formule (III.1)
- $CD_{i,t}$ : Charge De Dépassement du patient i à l'instant t selon la formule (III.2)
- $TA_{i,t}$ : Taux d'Attente pour la PPC du patient i à l'instant t selon la formule (III.3)

Fin Pour

Fin Si

Etape 4 : mise à jour des indicateurs de tension à l'instant t :

- $RDO_t$ : Ratio Demande sur Offre à l'instant t selon la formule (III.4)
- $RDT_t$ : Ratio de Dépassement Total à l'instant t selon la formule (III.5)
- $RAT_t$ : Ratio d'Attente Total pour la PPC à l'instant t selon la formule (III.6)

Etape 5 : Agrégation floue des indicateurs de tension pour le calcul du niveau global de la tension à l'instant t

### **III.2.1 Indicateurs spécifiques aux patients**

Assurer aux parents et aux patients la satisfaction dans le SUP fait partie d'une stratégie d'amélioration continue (Magaret et al., 2002). La DP, le temps d'attente, la diffusion de l'information et l'interaction avec les praticiens dans le SUP présentent les plus forts prédicteurs significatifs de la satisfaction des patients (Boudreaux and O'Hea, 2004).

Ceci ne signifie pas que les parents ne sont pas conscients du temps de traitement nécessaire. Mais ils ont besoin d'être bien informés sur l'avancement des traitements d'une part et sur la progression globale des soins d'autre part. Ce qui reflète également le niveau de la tension car la DP semble augmenter considérablement lorsque le TO dépasse 90% (Forster et al., 2003) (McCarthy et al., 2009). Néanmoins, il est difficile d'évaluer la satisfaction des patients en raison de l'interaction complexe entre les attentes, les perceptions et la réalité (Harris and Hostetler, 2002) (Spahr et al., 2006).

Dans ce cadre, nous souhaitons proposer des indicateurs spécifiques aux patients reflétant à la fois le niveau de performance et la qualité de prise en charge. Ils sont basés sur la comparaison à un instant  $t$  de la durée réelle passée dans le service d'un patient donné et de sa DPP ou encore sa durée d'attente pour sa Première Prise en Charge (PPC). Nous allons donc commencer par présenter comment nous estimons et modélisons une DP dans l'USE avant de proposer la formulation des indicateurs.

#### ***III.2.1.1 Estimation et modélisation de la DP dans l'USE***

Nous rappelons que la DP est la durée séparant le temps d'arrivée et le temps de départ d'un patient. Notre but étant d'estimer une DP pour chaque patient de l'USE à partir d'un certain nombre de données.

Nous avons donc construit un arbre de décision à partir des données patients comme il s'agit d'un problème de discrimination et classement (RAKOTOMALALA, 2005). En effet, dans notre cas, on veut expliquer et prédire la DP dans l'USE à partir de variables catégorisant les patients en groupe homogènes en terme de distribution de DP.

L'arbre de décision est le résultat d'un partitionnement de patients en groupes, où chaque groupe est caractérisé par une segmentation qui repose sur un croisement de variables unique. Chaque groupe aboutit à un sommet au bout duquel nous représentons la distribution de la DP afin d'évaluer quelle est la meilleure segmentation à prendre en compte.

Nous avons trouvé que la DP dépend fortement du profil du patient; elle est sensible essentiellement au *diagnostic m* et au *nombre d'examens complémentaires e* (Windal et al., 2014) (Chandoul et al., 2014).

Nous avons donc choisi de construire une base de données dynamique relative aux différentes DP selon ces deux critères. Elle se présente par une table que nous avons appelé *TableDesDP* qui a pour lignes les codes des différents diagnostics *m* et en colonnes les nombres d'examens *e*. Chaque cellule correspond à  $\bar{d}_{m,e}$  qui est la médiane des DP d'un groupe de patients de l'historique ayant le diagnostic *m* et le nombre d'examens complémentaires *e*. Nous présentons la structure de cette table dans le Tableau III-1.

**Tableau III-1 : Structure de la TableDesDP**

	e=0	e=1	e=2	e=3
m=1	$\bar{d}_{1,0}$	$\bar{d}_{1,1}$	$\bar{d}_{1,2}$	$\bar{d}_{1,3}$
m=2	$\bar{d}_{2,0}$	$\bar{d}_{2,1}$	$\bar{d}_{2,2}$	$\bar{d}_{2,3}$
m=3	$\bar{d}_{3,0}$	$\bar{d}_{3,1}$	$\bar{d}_{3,2}$	$\bar{d}_{3,3}$
m=4	$\bar{d}_{4,0}$	$\bar{d}_{4,1}$	$\bar{d}_{4,2}$	$\bar{d}_{4,3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Ainsi dans le cas où nous avons un patient qui se présente à un instant *t* avec un diagnostic  $m_{i,t}$  et un nombre d'examens complémentaires prescrits  $e_{i,t}$ , nous lui affectons une  $DPP_{i,t}$  selon le protocole d'estimation de la DP décrit par  $DPP_{i,t} = \bar{d}_{m_{i,t},e_{i,t}}$ . Ce qui donne :

$$DPP_{i,t} = \bar{d}_{m_{i,t},e_{i,t}} = \text{TableDesDP}[m_{i,t}, e_{i,t}]$$



Toutefois, quand un patient n'a pas encore eu sa PPC et donc aucun diagnostic n'est encore établi, sa DPP est la médiane de toutes les DP (de tous diagnostics confondus).

La DP présente un indicateur clé pour l'étude de l'avancement des traitements. En effet, suivre l'avancement de chaque prise en charge permet de détecter les éventuelles anomalies par rapport à une progression dite « normale ». Ces anomalies se présentent par les dépassements des durées prévisionnelles : Quand la DPP n'est pas encore atteinte, nous qualifions ce cas de figure de progression « normale » tandis que dans le cas contraire, nous le qualifions de « dépassement ».

Pour le scénario de progression « normale », cette modélisation mettra en évidence le temps prévisionnel restant. Nous aurons ainsi une quantification approchée de la charge de soins totale restante quand nous généralisons cette modélisation à tous les patients présents à un instant  $t$ . Tandis que pour les scénarios de « dépassement », les temps de dépassement seront exploités comme une conséquence directe de la tension et seront intégrés dans une métrique à part puisque ce cas reflète l'indisponibilité des ressources et l'engorgement du service.

Nous avons choisi de modéliser graphiquement la progression du traitement tenant compte de la DPP comme le montre la Figure III-3 où  $DPP = \bar{d}_{m,e}$  est considérée comme 100% de la charge de soin. La Figure III-3 met également en évidence des zones d'alertes relatives au pourcentage de progression du traitement dans le temps. Elles sont distinguées par des codes couleurs et des limites de progressions comme suit :

- $l_{1,m,e}$  40% de la progression
- $l_{2,m,e}$  80% de la progression
- $\bar{d}_{m,e}$  100% de la progression
- $l_{3,m,e}$  120% de la progression (cas de dépassement)
- $l_{4,m,e}$  160% de la progression (cas de dépassement)

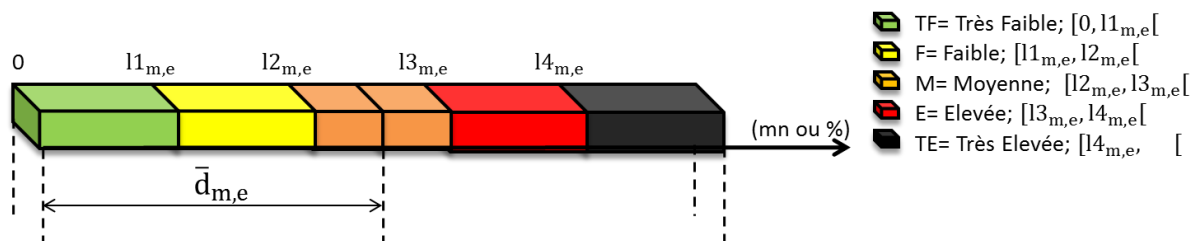


Figure III-3: Représentation illustrative de la distribution d'une DPP par un système tampon

La zone centrale est une zone dite moyenne (M) du fait que les sorties dans cette zone sont situées autour de la médiane. Avant cette zone nous parlons de sorties précoces (TF et F) et après cette zone nous parlons de sorties tardives (E et TE).

En effet, une sortie précoce signifie que la prise en charge du patient était rapide due essentiellement à la disponibilité de ressources ou/et une facilité de traitement. Contrairement à une sortie tardive, elle peut être due à l'indisponibilité des ressources qui engendre des temps attentes cumulées, ou/et un traitement complexe.

L'objectif est de proposer un système fonctionnant en temps réel pour accompagner les praticiens tout au long de la journée de travail en proposant une aide à la décision et une mise en garde permanente en attirant leur attention grâce aux zones d'alerte, ainsi juger rapidement la nature de la progression pour un patient donné et de son ordre de priorité dans un groupe de patients.

Ce mécanisme d'information autour de la progression des traitement peut accompagner également les patients. Il pourrait modifier leurs attentes, perceptions et leurs niveaux de satisfaction. En particulier dans le SUP, où les parents peuvent suivre leurs enfants instantanément. Dans la même veine, à la poste ou à la banque où nous prenons un rang dans une file d'attente, certains établissements proposent une estimation du temps d'attente en fonction de la charge et la disponibilité des agents.

### ***III.2.1.2 Formulation et interprétation***

Nous posons à un instant fixe  $t$  au cours d'une journée de travail :

$B$  Nombre total de lits dans l'USE,

$H$  Nombre total de Lits en UHCD,

$NC_t$  Nombre de patients présents dans l'USE à l'instant  $t$ ,

$NH_t$  Nombre de patients présents dans l'UHCD à l'instant  $t$ ,

$i$   $1, 2, \dots, NC_t$  Indices des patients présents dans l'USE à un instant  $t$ ,

$b_i$  Instant d'entrée du patient  $i$  au service,

$m_{i,t}$  Code du diagnostic du patient  $i$  à l'instant  $t$ ,

$e_{i,t}$  Nombre d'examen complémentaires du patient  $i$  à l'instant  $t$ ,

$D_{i,t}$  Durée réelle passée dans le service du patient  $i$  à l'instant  $t$  (exprimée en minutes),

$$D_{i,t} = t - b_i$$

$\theta_i$  Charge de dépassement, activée par le médecin du patient  $i$  dans le scénario d'un dépassement avec  $0 < \theta_i \leq 1$ . Cette charge est relative à une évaluation de la charge de traitement restante. Si le médecin n'intervient pas alors  $\theta_i = \theta^*$ .

$\theta^*$  Charge de dépassement de référence ( $0 < \theta^* \leq 1$ ). C'est la moyenne des dépassements de tous les patients de l'historique présentant des scénarios de dépassement de DPP. Dans notre cas  $\theta^* = 0.2$ .

$w$  Temps d'attente de référence pour la PPC (exprimée en minutes): C'est un seuil pour la durée d'attente tolérée avant la PPC. C'est la moyenne d'attente pour la PPC de tous les patients de l'historique. Dans notre cas  $w=20\text{min}$ .

$a_{i,t}$  Variable booléenne vérifiant si le patient  $i$  attend encore sa PPC à l'instant  $t$ ,

$$a_{i,t} = 1 \quad \text{Si PPC est non faite}$$

$$a_{i,t} = 0 \quad \text{Si non}$$

$d_{i,t}$  Variable booléenne qui exprime si le patient  $i$  à l'instant  $t$  est en dépassement ou pas.

$$d_{i,t} = 1 \quad \text{Si } D_{i,t} > \text{DPP}_{i,t} \text{ (Cas de dépassement)}$$

$$d_{i,t} = 0 \quad \text{Si non}$$

Ces paramètres nous permettent de définir trois indicateurs composites (III.1) (III.2) (III.3) spécifiques à un patient donné  $i$  à l'instant  $t$ . Ils seront le moyen d'évaluer la qualité de prise en charge du patient et de son niveau de satisfaction d'une part et seront la base de construction d'indicateurs clés pour l'évaluation de la tension dans le SU d'autre part.

- **Charge Restante**

$$\mathbf{CR}_{i,t} = 1 - \frac{D_{i,t}}{\text{DPP}_{i,t}} \quad \text{Si } D_{i,t} \leq \text{DPP}_{i,t} \quad (\text{III.1})$$

$$\mathbf{CR}_{i,t} = \theta_i \quad \text{Si non}$$

C'est un réel positif, sa valeur est comprise entre 0 et 1, elle est maximal à l'instant  $b_i$  où  $D_{i,t} = 0$  ainsi  $\mathbf{CR}_{i,b_i} = 1$ . Cette mesure modélise une charge de soin restante pour un patient  $i$  à l'instant  $t$  dans l'USE. Cette charge est un moyen de mettre un poids sur l'avancement du

processus de prise en charge.  $CR_{i,t}$  permet d'éviter de considérer la présence physique du patient  $i$  à l'instant  $t$  comme 100% de charge de soins restante.

- **Charge de Dépassement**

$$CD_{i,t} = \frac{\text{Max}(0, D_{i,t} - DPP_{i,t})}{DPP_{i,t}} \quad (\text{III.2})$$

C'est un réel positif qui est différent de 0 seulement en cas de dépassement. S'il est supérieur à 1 le patient a passé au moins 2 fois sa DPP.

Cette mesure modélise un éventuel dépassement de la durée réelle  $D_{i,t}$  passée au-delà de la DP Prévisionnelle  $DPP_{i,t}$  d'un patient  $i$  à l'instant  $t$  dans l'USE.  $CD_{i,t}$  permet de donner l'alerte aux praticiens en cas de dépassement. Dans un souci de qualité,  $CD_{i,t}$  est un indicateur à minimiser afin de minimiser le dépassement.

- **Taux d'Attente pour la PPC**

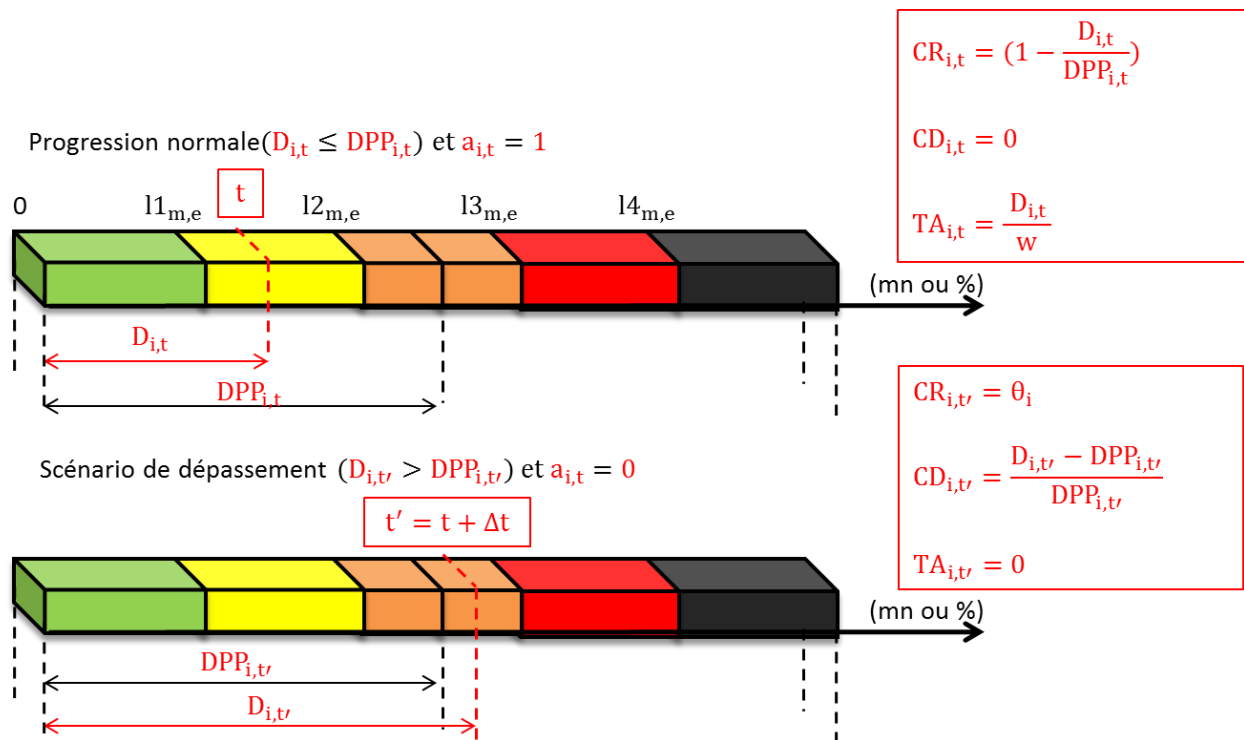
$$\begin{aligned} TA_{i,t} &= \frac{D_{i,t}}{w} && \text{Si } a_{i,t} = 1 && (\text{III.3}) \\ TA_{i,t} &= 0 && \text{Si non} \end{aligned}$$

C'est un réel positif qui est différent de 0 seulement en cas d'attente pour la PPC. Si  $D_{i,t} \leq w$  alors  $0 < TA_{i,t} \leq 1$  et dans ce cas l'attente est tolérable. Par contre si  $1 < TA_{i,t}$  alors il s'agit d'un temps d'attente dépassant le temps d'attente de référence  $w$  et dans ce cas il faut créer une alerte d'attente.

Cette mesure évalue la moyenne d'attente pour la PPC d'un patient  $i$  à l'instant  $t$  dans l'USE et reflète son niveau de satisfaction. Dans un souci de qualité,  $TA_{i,t}$  est un indicateur à minimiser afin de minimiser l'attente.

Dans notre cas, un patient attend en moyenne  $w=20\text{min}$  avant d'avoir sa PPC. Jusqu'à 20min d'attente nous ne considérons pas qu'il s'agisse d'un phénomène anormal. Par contre après 20min nous donnons une alerte aux praticiens par un  $TA_{i,t} > 1$ . Un patient attend  $TA_{i,t}$  fois  $w$  s'il n'a pas eu sa PPC. Exemple : Si le patient attend depuis 50mn sa PPC,  $TA_{i,t} = 2.5$ .

La Figure III-4 illustre le calcul des indicateurs dans les deux cas de figures : La progression normale (où  $D_{i,t} \leq DPP_{i,t}$ ) et le scénario de dépassement (où  $D_{i,t} > DPP_{i,t}$ ).



**Figure III-4 : Modélisation de la progression d'un traitement avant et après dépassement**

Séparer les deux cas de figures permet de modéliser la normalité du fonctionnement d'une part et l'anormalité d'autre part. Le but est de pouvoir refléter ces deux aspects analytiquement. La DP est un reflet direct de la qualité de prise en charge et de la satisfaction des patients.

Désormais, ces indicateurs spécifiques à un patient donnée  $i$  à un instant  $t$  nous permettent d'élaborer des indicateurs généraux qui considèrent les caractéristiques d'une population de patients à l'instant  $t$  afin d'évaluer le niveau global de la tension.

### III.2.2 Indicateurs modélisant la tension

Nous proposons en entrées du moteur flou, trois indicateurs de tension Figure III-1. La surveillance de ces indicateurs permet l'évaluation de l'état d'activité au sein du SUP et permet de détecter la survenue d'un événement exceptionnel pouvant créer une tension. Ces indicateurs sont construits sur la base d'indicateurs spécifiques (formules III.1, III.2 et III.3).

Dans cette partie nous présentons pour chaque indicateur sa formulation. Le but est de trancher entre l'évolution normale et anormale d'une part et de détecter les seuils de changement d'états d'autre part, puisque nous cherchons à identifier le régime transitoire.

Afin de justifier le choix des indicateurs, nous allons rappeler la définition de la tension :

*Un état de tension dans le SU est un **déséquilibre entre le flux de charge en soins et la capacité de prise en charge** sur une durée suffisante pouvant entraîner des **conséquences néfastes** au bon fonctionnement.*

Cette définition propose trois aspects de la tension : le premier est sa **source directe** qui est le déséquilibre entre offre et demande, le deuxième est **la durée de ce ressenti** et le troisième aspect est **ses conséquences**.

Ainsi, nous allons modéliser ces trois aspects par : un indicateur principal représentant le déséquilibre offre/demande et deux indicateurs représentant les conséquences néfastes dans le temps (le dépassement des DPP et les longues attentes pour la PPC).

### **III.2.2.1 Indicateur principal : Ratio Demande sur Offre (RDO)**

Comme nous l'avons déjà définie, la tension dans le SU est liée au rapport entre la demande et l'offre. Si la demande excède l'offre, cela fait monter le niveau de la tension. Ainsi nous définissons le Ratio Demande sur Offre ( $RDO_t$ ) par la formule suivante :

$$RDO_t = \frac{\sum_{i=1}^{NC_t} CR_{i,t}}{B + (H - NH_t)} \quad \text{Si } NC_t > 0 \quad (III.4)$$

$$RDO_t = 0 \quad \text{Si non}$$

C'est un réel positif qui est différent de 0 seulement s'il existe une demande de soins. Le numérateur évalue la charge de soins effective restante totale dans l'USE à un instant t. C'est la somme des  $CR_{i,t}$  de tous les patients i présents dans l'USE à l'instant t. Tandis, que le dénominateur évalue la capacité de prise en charge en nombre de lits susceptible d'être disponibles pour les patients en USE. Ainsi, si le  $RDO_t$  est supérieur 1, ceci veut dire que la charge en soin dépasse la capacité de prise en charge.

Dans quasiment toutes les métriques que nous avons vues dans la revue de littérature (paragraphe I.4.1), le nombre de patients revient souvent comme l'information qui modélise la demande. Mais nous estimons que c'est une information insuffisante puisque en fonction de l'heure, la nature et le niveau d'avancement des traitements, la charge de soins pourrait être ressentie différemment.

Nous estimons que la somme des  $CR_{i,t}$  est plus adéquate pour représenter la demande effective propre à la population de l'USE à un instant  $t$  et nous la proposons à la place du  $NC_t$ . Son intérêt est perçu pour les fins de traitement qui ne consomment plus beaucoup de ressources, car proposer  $NC_t$  dans ces cas peut engendrer des fausses alertes de tension.

De plus, nous avons constaté que l'UHCD n'est pas une 2ème unité complètement indépendante de l'USE et de la tension puisqu'elle consomme les mêmes ressources humaines d'une part et offre des placements supplémentaires d'autre part d'où l'intégration du nombre de lits vacants ( $H - NH_t$ ) en UHCD à un instant  $t$  dans le dénominateur. En effet, en fonction du niveau d'occupation en UHCD, l'équilibre entre demande et offre peut s'accroître ou au contraire s'alléger puisque les praticiens s'adaptent souvent à une hausse de la demande en accommodant des lits en UHCD en box de consultation. Ceci dit, dans le cas d'une indisponibilité totale de lits en UHCD, il n'existe plus d'autre marge de manœuvre et que même en ayant plus de personnel, ceci ne changera rien au fait qu'il n'y a plus de placement pour traiter les patients qui attendent.

Concrètement, dans des cas de crises extrêmes, comme la canicule 2003 en France, l'expérience a démontré que les couloirs et les salles d'attente étaient la dernière chance pour absorber la charge de soin et que le facteur humain a une grande capacité d'adaptation.

### ***III.2.2.2 Indicateur de conséquence : Ratio de Dépassement Total (RDT)***

La tension dans le SU est liée également à son prolongement dans le temps et aux conséquences qu'elle peut engendrer comme l'allongement des DP. Ainsi nous définissons le Ratio de Dépassement Total à un instant  $t$  ( $RDT_t$ ) comme le rapport entre la moyenne des  $CD_{i,t}$  de tous les patients présents dans l'USE présentant un cas de dépassement à l'instant  $t$ . Le  $RDT_t$  se présente par la formule suivante :

$$\mathbf{RDT}_t = \frac{\sum_{i=1}^{NC_t} CD_{i,t}}{\sum_{i=1}^{NC_t} d_{i,t}} \quad \text{Si } \sum_{i=1}^{NC_t} d_{i,t} > 0 \quad (\text{III.5})$$

$$\mathbf{RDT}_t = 0 \quad \text{Si non}$$

C'est un réel positif qui est différent de 0 seulement en cas de dépassement. Il évalue la moyenne de dépassement totale des DPP dans l'USE à un instant t.

Le dépassement des DPP peut être considéré à la fois comme une conséquence et une cause supplémentaire de tension. Car si le problème des DPP allongées n'est pas résolu et que la demande continue de croître avec de nouvelles arrivées, la capacité de prise en charge sera davantage accablée et la tension va persister dans le temps. D'où l'intérêt de garder cet indicateur comme un deuxième indicateur clé de tension et de le suivre instantanément à part.

### *III.2.2.3 Indicateur de conséquence : Ratio d'Attente Totale pour la PPC (RAT)*

Un deuxième aspect de la tension que nous avons réussi à déceler. Les temps d'attente pour la PPC qui augmentent pendant les pics de tension. Ainsi nous définissons le Taux d'Attente Total pour la PEP ( $\mathbf{RAT}_t$ ) par cette formule :

$$\mathbf{RAT}_t = \frac{\sum_{i=1}^{NC_t} TA_{i,t} \times a_{i,t}}{\sum_{i=1}^{NC_t} a_{i,t}} \quad \text{Si } \sum_{i=1}^{NC_t} a_{i,t} > 0 \quad (\text{III.6})$$

$$\mathbf{RAT}_t = 0 \quad \text{Si non}$$

Il s'agit de la moyenne des  $TA_{i,t}$  des patients présents à l'instant t dans l'USE attendant une PPC. C'est un réel positif. S'il est égal à 0 aucun patient n'attend sa PPC. Autrement, il y a une attente proportionnelle à sa valeur. Particulièrement s'il est supérieur à 1, la moyenne d'attente totale est supérieure à  $w=20$  min. Cet indicateur peut refléter indirectement la rareté des ressources face à la demande ainsi qu'une dimension qualitative de prise en charge.

Les longues attentes pour la PPC peuvent être considérés à la fois comme une conséquence et une cause supplémentaire de tension car si les patients ne sont pas examinés au moins pour établir un diagnostic, leurs DP vont s'allonger davantage en réduisant leurs niveaux de satisfaction. D'où l'intérêt de garder cet indicateur comme un troisième indicateur clé de tension et de le suivre instantanément à part. Nous rajoutons que cette catégorie de patients qui va attendre au-delà de w



une PPC est souvent composée de cas classés CCMU 1 et 2, qui ne sont pas prioritaires par rapports aux autres CCMU plus élevés.

Suite à cette formulation d'indicateurs modélisant la tension, nous allons procéder maintenant à l'étude de leur agrégation par la LF.

### **III.3 Agrégation floue des indicateurs de la tension**

Les trois indicateurs dégagés  $RDO_t$ ,  $RDT_t$  et  $RAT_t$  seront les entrées du moteur flou à chaque instant  $t$ . Et en sortie, nous obtenons le Niveau de Tension ( $NT_t$ ) comme le montre la Figure III-1. Nous avons choisi d'appliquer la LF pour trois raisons :

- Elle supporte la subjectivité (les avis d'experts sont multiples et les évaluations sont imprécises).
- Elle offre un seuillage flexible des indicateurs de tension : pas de passage brusque entre états.
- L'agrégation des indicateurs se base sur un moteur d'inférence qui hérite notre langage naturel, ce qui facilite la collaboration avec les praticiens.

Nous développons notre démarche dans cette partie en détaillant les différentes étapes du traitement flou. Sa validation sera traitée dans le paragraphe (V.3).

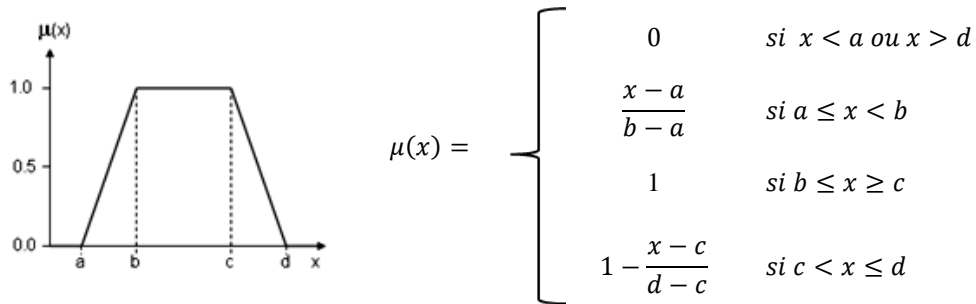
#### **III.3.1 Phase de fuzzification**

Nous optons pour un protocole de seuillage générique qui s'adapte à n'importe quel service en se basant sur sa base de données interne et son historique, les seuils déduits pour chaque indicateur seront relatifs à la configuration du service qui varie d'un établissement à un autre (capacité d'accueil, nombre de passages par jours, DP, DPP, adaptation de ressources).

##### ***III.3.1.1 Modélisation floue des indicateurs d'entrées***

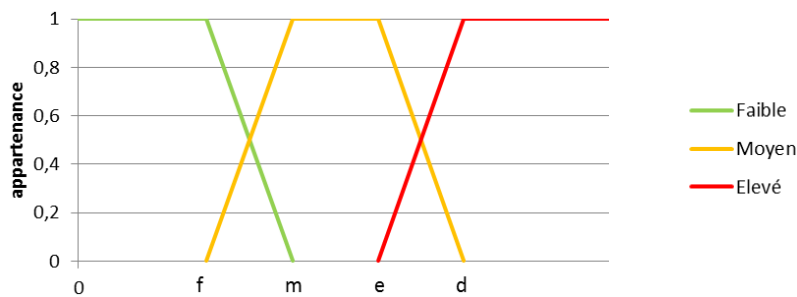
Nous avons défini pour chaque indicateur d'entrée 3 états modélisés par trois sous-ensembles flous : Faible « F », «Moyen « M » et Elevé « E ». Chaque sous-ensemble est caractérisé par sa fonction d'appartenance trapézoïdale pour que le passage d'un état à un autre se produise

graduellement. Ainsi, nous définissons chaque fonction d'appartenance par ses 4 paramètres affichés sur l'axe des abscisses comme le montre la Figure III-6. En effet, une fonction trapézoïdale est définie par quatre paramètres (a, b, c et d, des réels tels que  $a \leq b \leq c \leq d$ ) comme le montre la Figure III-5 :



**Figure III-5 : Fonction d'appartenance trapézoïdale**

Cependant, la modélisation de chaque indicateur est faite par 3 états comme le montre la Figure III-6 qui met en évidence des zones d'appartenance partielle évitant ainsi le passage brusque entre deux états successifs, « F » et « M » ou encore « M » et « E ». D'où l'intérêt d'un seuillage flou qui répond à la fois à une logique statistique et un consensus d'avis d'experts.



**Figure III-6: Fuzzification d'un indicateur en entrée**

Les seuils sont élaborés pour chaque indicateur selon la logique statistique décrite dans l'Algorithme III-2, les résultats seront détaillés dans le paragraphe (V.3.1) :

Tout d'abord, une étape d'initialisation est nécessaire afin de configurer la base de données en choisissant les jours de l'historique (base 2011 et 2012 dans notre cas), le pas d'échantillonnage ( $n=15\text{min}$  dans notre cas). Il faut ensuite initialiser les variables de traitement en

les dimensionnant. Dans l'étape 2, nous chargeons l'historique de l'indicateur selon le paramétrage initial.

Dans la troisième étape, nous menons une étude de distribution. Cette étude est affinée par tranche horaire selon le pas d'échantillonnage choisi au cours de la journée ( $n=15\text{min}$  ici). Ainsi, nous obtenons la dispersion de chaque indicateur en fonction du temps prenant en compte quatre fonctions limites comme suit :

- $LQ(t)$  : présente les limites des 25% inférieurs de données à chaque instant  $t$
- $Med(t)$  : présente les médianes (limites des 50% inférieurs) à chaque instant  $t$
- $UQ(t)$  : présente les limites des 75% inférieurs de données à chaque instant  $t$
- $UW(t)$  : présente les limites des 95% inférieurs de données à chaque instant  $t$

Ce choix d'analyse par tranche horaire est justifié par la forte variabilité de la demande des soins au cours de la journée : elle présente des valeurs très faibles dans la partie nocturne qui sont loin de la réalité de la tension ressentie habituellement entre 11h et 21h. Notre but est de détecter les pics de tension les plus importants relatifs à chaque indicateur, c'est pourquoi les seuils flous prennent les maximas des fonctions limites entre 9h et minuit comme le montre l'étape 4 de l'Algorithme III-2.

En effet, détecter les pics de tension hors période nocturne et premières heures de la journée, permet de réguler les seuils selon les configurations extrêmes afin d'éviter de les sous-estimer en considérant les autres horaires.

D'autre part, ce seuillage temporel présente une deuxième utilité graphique comme outils de suivi de progression d'indicateurs dans le temps puisqu'il permet de positionner la courbe de progression de l'indicateur encadrée par les quatre fonctions limites. Ainsi il permet de détecter un éventuel comportement inhabituel dans une tranche horaire donnée.

Certes les seuils sont spécifiques à la configuration du service étudié, mais leur élaboration et calcul sont génériques pouvant s'adapter à n'importe quel autre SU.

### Algorithme III-2 : Algorithme de calcul des seuils flous

Etape 1 : paramétrage

- R : nom de l'indicateur
- J : nombre de journée de l'historique
- n = 15 min : intervalle d'échantillonnage
- N: nombre d'observations dans une journée  
$$N = (24 \times 60) / n$$
- HR[N][J]: matrice contenant les valeurs de R par tranche horaire et par jour
- LQ[N] : tableau des limites des 25% inférieurs de données à chaque instant t
- Med[N] : tableau des limites des 50% inférieurs de données à chaque instant t
- UQ[N] : tableau des limites des 75% inférieurs de données à chaque instant t
- UW[N] : tableau des limites des 95% inférieurs de données à chaque instant t
- V[J] : tableau de traitement ayant pour dimension le nombre de jour J de l'historique

Etape 2 : chargement de l'historique pour un indicateur R

- Charger HR de la base de données

Etape 3 : remplissage des tableaux des limites par tranches horaires (Traitement de HR ligne par ligne)

Pour chaque t de 0 à N-1 faire

- $V \leftarrow \text{Tri\_Croissant}(\text{HR}[t])$
- $LQ[t] = V[(\text{entier}) J \times 0.25]$
- $\text{Med}[t] = V[(\text{entier}) J \times 0.50]$
- $UQ[t] = V[(\text{entier}) J \times 0.75]$
- $UW[t] = V[(\text{entier}) J \times 0.95]$

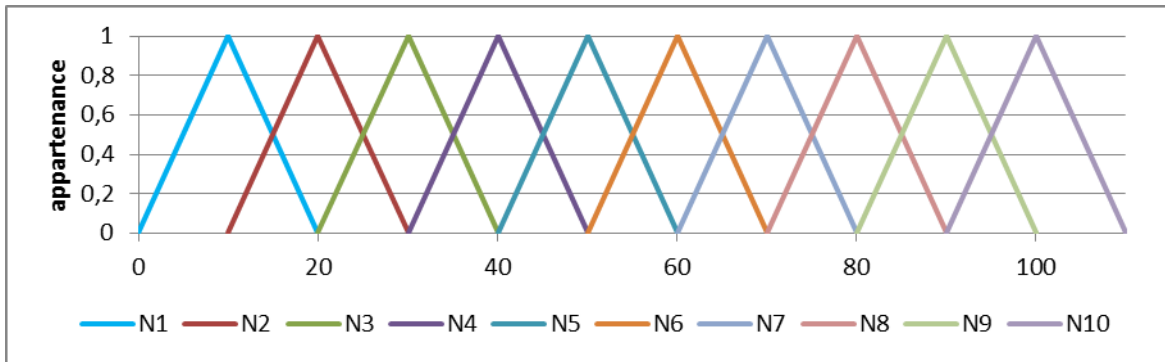
Fin Pour

Etape 4 : calcul des seuils flous

- $f \leftarrow \text{Max}(LQ, 9, 24)$
- $m \leftarrow \text{Max}(\text{Med}, 9, 24)$
- $e \leftarrow \text{Max}(UQ, 9, 24)$
- $d \leftarrow \text{Max}(UW, 9, 24)$

#### III.3.1.2 Modélisation floue du niveau de la tension

Nous avons adopté une classification plus fine en proposant 10 niveaux de tensions modélisés par 10 sous-ensembles flous : de « N1 » à « N10 » du plus faible au plus élevé. La Figure III-7 montre cette fuzzification où nous avons choisi des fonctions triangulaires qui sont un cas particulier des fonctions trapézoïdales dans le cas où  $b=c$  (Figure III-5).



**Figure III-7 : Fuzzification de la sortie « Niveau de Tension »**

Ainsi la valeur finale de la tension est une mesure qui sera comprise entre 1 et 100.

### III.3.2 Phase d'inférence

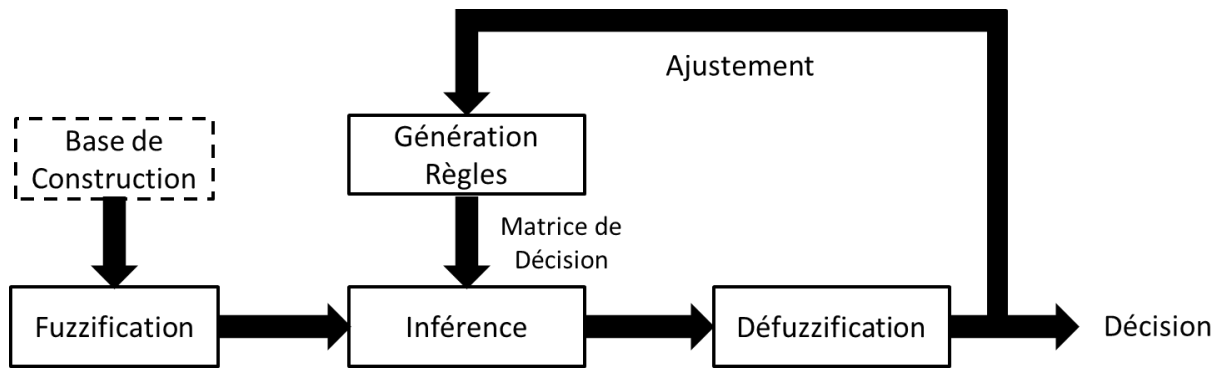
C'est la deuxième étape du traitement flou, elle consiste à définir le moteur d'inférence qui est basé sur une description linguistique dans le but de générer des règles de décision. La description linguistique simplifie la modélisation du phénomène car ceci hérite de notre langage naturel. L'élaboration des règles obéit à une étude statistique sur l'influence de chaque indicateur mais elle est surtout basée sur les avis des praticiens.

En effet nous avons choisi d'utiliser la méthode de Mamdani (Bouchon-Meunier, 1990) pour l'inférence floue en ayant des combinaisons d'états du Type :

$$\text{Si } RDO_t \llcorner ? \gg \text{ Et } RAT_t \llcorner ? \gg \text{ Et } RDT_t \llcorner ? \gg \text{ Alors } NT_t \llcorner ? \gg$$

Nous avons choisi d'utiliser seulement l'opérateur logique « **ET** » dans les conditions, afin de couvrir tout l'espace d'entrée via toutes les combinaisons d'états possibles qu'offre cette syntaxe : avec 3 entrées dans notre cas, où chacune peut présenter 3 états différents, nous obtenons  $3^3$  combinaisons soit 27 règles.

Pour ajuster les 27 règles proposées dans la matrice de décision une à une avec les experts, nous avons adopté une démarche itérative de régulation comme le montre le schéma illustratif de la Figure III-8. Tout d'abord, nous avons préparé une étude statistique liée aux situations de déclenchement des règles afin de déduire des conclusions cohérentes.



**Figure III-8 : Schéma illustratif de l'approche d'ajustement des règles floues**

Cependant, il est important de vérifier que toutes les règles sont impliquées dans le processus d'évaluation et suivent les recommandations de (Dubois et al., 1997). En fait une base de règles floues doit subir une série de tests pour vérifier qu'elle obéit à certaines propriétés requises et ne contient pas d'anomalies inattendues comme :

- incohérence interne d'une ou de plusieurs règles
- existence de règles conflictuelles
- redondance d'une règle par rapport à un ensemble de règles
- règles avec des conditions inutiles
- une couverture incomplète de l'espace d'entrée

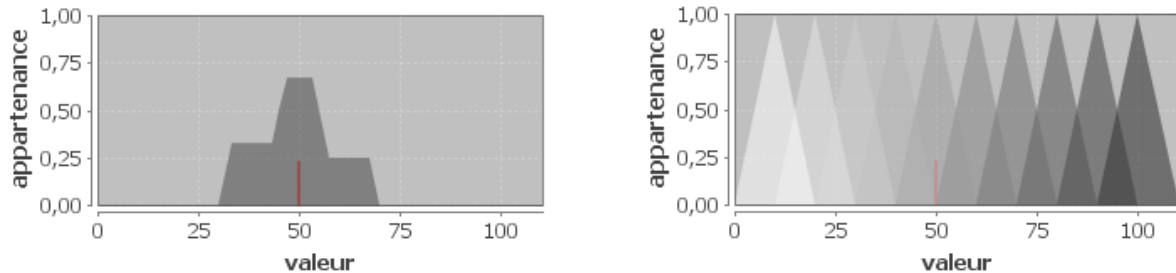
Enfin, pour une généralisation à d'autres services, cette étape d'expertise est indispensable. Nous étudions dans le paragraphe (V.3.1 les caractéristiques de cette base de règle appliquée aux indicateurs du SUP Jeanne de Flandre.

### **III.3.3 Phase de défuzzification**

La défuzzification constitue l'étape finale du traitement flou. Cette opération a pour but de fournir une valeur numérique précise et nette entre 0 et 100 qui soit exploitable directement et qui fait le compromis entre les conclusions d'inférence en renfermant toute l'information subjective dans une surface de décision comme le montre la Figure III-9. Le centre de gravité nous permet de déduire dans quelle zone d'alerte se situe son abscisse pour afficher un voyant d'alerte : Vert,

Jaune, Orange, Rouge ou Noir. Ces cinq zones d’alerte caractérisées par des couleurs sont attribuées aux cinq zones constituées par les 20% successifs de cette échelle (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 et enfin 80-100).

**Figure III-9 : Exemple de surface de décision affichant le CoG et la zone d’alerte correspondante**



Nous présentons dans le paragraphe (V.3.3) les résultats de cette agrégation floue.

### III.4 Conclusion

Dans notre approche d’évaluation, nous nous sommes basés, pour la définition de nos indicateurs clés, sur l’étude des DP et l’attente pour la PPC afin d’évaluer le déséquilibre entre la charge en soins demandée à un instant  $t$  et la capacité de prise en charge d’une part et les conséquences de la tension dans le SUP comme l’allongement des DP et les longues attentes pour la PPC d’autre part. Il s’agit d’une démarche quantitative et qualitative à la fois qui permet d’avoir une évaluation de la tension sur différents niveaux.

De plus, dans quasiment toutes les métriques que nous avons vues dans la revue de littérature vue dans le paragraphe (I.4.1), nous n’avons pas trouvé une distinction entre les patients de l’USE et ceux de l’UHCD du fait qu’il s’agit d’une caractéristique propre des SU en France. De plus, rares sont les travaux qui ont intégré la DP dans les indicateurs de tension et si c’est le cas, elle était proposée pour toute la population de patients sans aucune distinction. Ces travaux ne traitaient pas les SUP non plus.

Pour notre travail, nous avons choisi de séparer les indicateurs et d’éviter leur imbrication dans une seule métrique pour avoir différents angles de vue sur la tension afin de savoir où et comment il faut agir car chaque indicateur en soi présente une mesure de tension à part.

Néanmoins, leur agrégation par la LF permet d’aboutir à une évaluation globale du niveau de tension via une mesure exploitable variant entre 1 et 100. L’élaboration des règles d’inférence

grâce à la description linguistique qui hérite notre langage naturel, présente l'élément clé de cette évaluation car elle nous a permis de collaborer avec différents métiers et faire un compromis entre les différents avis des experts. Il s'agit d'une approche flexible pouvant être adaptée à n'importe quel SU grâce à une méthode de seuillage générique et une base de règle cohérente et adaptée.

Dans le chapitre qui suit, nous développons le deuxième objectif de notre projet qui est l'anticipation de la tension sur différents horizons afin de donner une meilleure visibilité aux gestionnaires du SU sur l'évolution future de la demande en leur permettant d'anticiper ce phénomène par des actions préventives et correctives.



**IV. CHAPITRE IV. Anticipation et évitement de la tension**

## IV.1 Introduction

La prévision et l'anticipation des crises sont assez connues dans le milieu économique, où les gestionnaires sont à la quête d'informations prospectives leur permettant de mieux piloter leur activité. L'objectif est d'offrir une meilleure gestion de ressources afin de maîtriser les coûts mais aussi de satisfaire sa clientèle dans un milieu de haute concurrence. Les difficultés essentielles sont dues au manque de visibilité et à l'incertitude face à la demande. Adopter des prévisions peut changer toute une politique économique selon leur nature optimiste ou pessimiste. D'ailleurs les prévisions dans certains secteurs comme l'automobile conditionnent souvent la production.

Cependant, dans le monde de la santé, la prévision est récemment appliquée. Face aux nouvelles contraintes réglementaires, budgétaires et pressions médiatiques d'une part et le recours de plus en plus aux services de soin d'autre part, ce secteur hérite de plus en plus des caractéristiques du monde de l'entreprise. Ainsi, un nouveau défi stratégique est au cœur de l'activité hospitalière, c'est l'anticipation de la demande pour mieux gérer le pilotage de l'activité. Il s'agit également du deuxième objectif dans le cadre du projet HOST.

Nous avons déjà présenté un état de l'art sur cette thématique dans le paragraphe (I.4.2) et nous avons remarqué que les travaux sont majoritairement dans les urgences adultes excluant les SUP. Les travaux d'anticipation sont quasi-inexistants en France et ne prennent pas en compte les particularités du système de soins français. De plus, les horizons d'anticipation sont parfois assez larges, ne reflétant pas la vraie tension ressentie ou ne permettant pas d'agir efficacement.

En effet, la demande de soin dans le SUP fait l'objet de fortes variations saisonnières mais bien structurées. Les observations des chroniques de fréquentations de notre établissement détaillées dans le paragraphe (V.2.1) nous ont menés à illustrer des phénomènes saisonniers particuliers à différentes périodicités (mensuelle, hebdomadaire, journalière et horaire).

Dans ce chapitre, nous présentons en premier lieu les approches d'anticipation que nous allons adopter dans le cadre d'un système hybride d'anticipation à horizon glissant qui présente une mesure préventive pour éviter la tension. Dans un deuxième lieu, nous présentons d'autres protocoles d'évitement de tension complémentaires à son anticipation.

## IV.2 Système hybride d'anticipation à horizon glissant

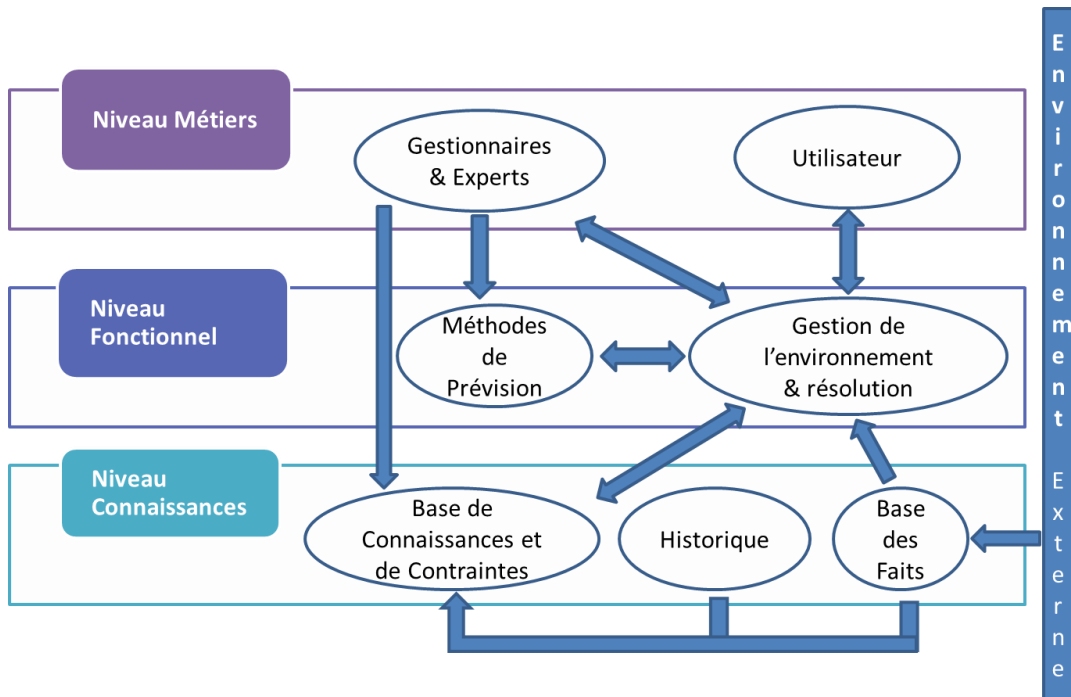
Afin d'avoir une meilleure qualité de prévision, nous devons choisir des méthodes adéquates pour chaque période de l'année et horizon de prévision :

- **de novembre à mars** : le SU est victime du plus grand nombre d'états de tension sévères. Dans cette partie de l'année, nous observons une grande influence des paramètres externes sur le nombre d'arrivée. Ces paramètres externes sont les basses températures, les vacances scolaires et surtout la forte contagion due aux épisodes épidémiques.
- **avril, mai, juin, septembre et octobre** : Le SU se trouve hors période épidémique, les températures se stabilisent et il y a deux semaines seulement de vacances (vacances de printemps).
- **juillet, août** : le SU perçoit plutôt le phénomène inverse que l'hiver, pendant les vacances d'été l'activité chute surtout pour les jours de température très élevée, nous avons pour ces mois une sous-activité.

Les méthodes que nous proposons pour l'anticipation doivent se baser sur l'étude des SC et doivent supporter la saisonnalité. Ces méthodes sont HW, SARIMA et enfin la méthode SARIMAX améliorée.

Notre objectif est de concevoir un Système Hybride d'Anticipation (SHA) constituant un environnement intégré permettant d'appeler un ensemble de méthodes de prévision en fonction de l'horizon, la période de l'année et les facteurs externes impliqués pour la période demandée. Son fonctionnement adaptatif est régi d'une part par l'utilisation de plusieurs méthodes de prévision et d'autre part par sa capacité de prendre en compte l'impact des facteurs externes sur la demande dans le SU. L'architecture fonctionnelle de ce système peut être représentée par le schéma de la Figure IV-1 où on voit sa structure en trois niveaux:

- Niveau Métiers
- Niveau Fonctionnel
- Niveau Connaissances



**Figure IV-1 : Architecture fonctionnel du Système Hybride d'Anticipation (SHA)**

Niveau Métiers : correspondant aux divers utilisateurs et intervenants du SHA pouvant lancer des requêtes de prévision pour une période et un horizon donnés. Parmi eux, les gestionnaires et les experts qui participent en plus à l'élaboration, la création et la gestion des bases de connaissance et participent également au choix des méthodes de prévisions.

Niveau Fonctionnel : constitué essentiellement par le module "Gestion de l'Environnement & résolution" qui assure le lien entre les différents modules du SHA. Ce niveau regroupe l'ensemble des méthodes de résolution et d'exploitation des connaissances et d'évaluation des solutions.

Niveau Connaissances : comporte un historique de données et deux bases :

- La base de connaissances et de contraintes : spécifique à un modèle descriptif représentant les différentes règles de choix d'application de méthodes de prévision en fonction des caractéristiques de l'environnement externe et l'historique des données. Elle conditionne le choix de la méthode de prévision à adopter.

- La base des faits : elle est en lien directe avec l'environnement externe, regroupe un ensemble d'information codées des caractéristiques de la période et l'horizon de prévision demandés. Ces caractéristiques sont les vacances scolaire, la période épidémique, les prévisions météorologiques. C'est une base dynamique qui évolue en temps réel.

Le schéma de la Figure IV-1 montre les interactions entre ces trois niveaux. La qualité avec laquelle ces interactions peuvent s'exécuter, le degré d'efficacité du système d'aide et son ergonomie sont tous liés à la mise en œuvre d'interfaces. Ces interfaces doivent donc donner une représentation de la solution sous forme de visualisation d'informations textuelles et graphiques.

De plus ces interfaces doivent s'adapter aux divers droits d'accès des utilisateurs : les interfaces dédiées aux gestionnaires et experts doivent englober l'ensemble des supports nécessaires pour élaborer et gérer les modules des niveaux Fonctionnel et Connaissances. Tandis que les interfaces des simples utilisateurs doivent constituer un outil d'interaction pour la réception de la requête d'information et l'affichage du résultat. C'est une gestion de la communication, tant au niveau recueil de la demande utilisateur pour l'exercer via le module de gestion et de résolution qu'au niveau informationnel (affichage, analyse, évaluation).

Anticiper la tension sur différents horizons dans le SUP est un moyen incontournable pour offrir une meilleur organisation, améliorer la gestion des ressources et la qualité de prise en charge. Désormais, nous allons présenter la problématique de l'anticipation de la tension dans le SUP pour des horizons larges et courts. Ensuite, nous allons proposer les méthodes de prévision que nous adoptons.

#### **IV.2.1 Problématique : quoi anticiper et sur quel horizon ?**

La question à laquelle il faut répondre à ce stade est : Qu'est-ce que nous allons anticiper afin de prévoir la tension ? La difficulté apparente est que la tension telle que nous l'avons définie pourrait perdre son sens en élargissant l'horizon au-delà d'une anticipation journalière. Par contre, notre définition de la tension prend tout son sens pour des horizons courts à l'ordre de

l'heure. Dans ce qui suit nous allons répondre à cette question en développant pour chaque horizon la chronique à anticiper et les approches à adopter.

#### ***IV.2.1.1 Anticiper le nombre d'arrivées pour des horizons larges***

Pour des horizons larges (mensuel, hebdomadaire et journalier), le nombre de patients s'avère être le caractère reflétant le mieux la demande de soin pouvant créer un éventuel déséquilibre avec l'offre. En étudiant le phénomène sur ces horizons, il paraît stable en termes de saisonnalité et influence externe. Ces études sont détaillées dans les paragraphes (V.2.1 et V.2.2).

Ainsi nous allons faire des prévisions sur le nombre de patients dans le service grâce aux méthodes de prévision basées sur les SC essentiellement HW et SARIMA supportant la saisonnalité. Par la suite, nous allons évaluer la qualité de prévision pour chaque méthode avec le MAPE (Tableau I-1) afin de choisir la méthode la plus adéquate selon l'horizon. Cependant, nous allons exploiter l'influence externe pour avoir une meilleure qualité de prévision et nous appliquons dans ce cas la méthode SARIMAX.

#### ***IV.2.1.2 Anticiper la tension pour des horizons courts***

Pour l'horizon horaire, voire moins large, la tension prend tout son sens. Cependant, pour ces horizons plus restreints, le nombre de patients dans le service n'est plus une information suffisante pour modéliser la tension dans sa globalité qui devient une résultante de : nombre arrivées, nombre de sorties, nombre de patients vus et d'autres en attente d'une PPC ou d'un examen complémentaire ou encore d'une ou plusieurs ressources.

Alors pour anticiper la tension à l'horizon horaire, deux pistes sont disponibles :

- La première piste est celle que nous retrouvons dans la littérature (Annexe 2) qui est d'anticiper le nombre de patients présents dans le service. Mais comme nous l'avons déjà évalué, il ne s'agit pas forcément d'un reflet de tension.
- La deuxième piste est d'anticiper la tension dans sa globalité comme mesure tenant compte de notre approche d'évaluation floue. Pour cette piste nous avons encore deux alternatives :

soit anticiper les indicateurs un à un et agréger leurs résultats de nouveau pour avoir une sortie qui est la tension à chaque intervalle de temps. Ou encore anticiper une seule mesure qui est la mesure de la tension en soit, tel que nous l'avons élaborée.

Puisque les deux indicateurs RDT et RAT ne présentent pas de saisonnalité apparente et leurs influences sur la tension est ressentie essentiellement dans les états « F » nous choisissons l'anticipation de la tension dans sa globalité comme il s'agit d'une chronique saisonnière de période 24.

En termes de méthodes, nous allons appliquer les méthodes d'anticipation existante dans la littérature en essayant d'améliorer l'information venant de l'historique qui influence directement la qualité des prévisions en offrant la possibilité de recomposer un historique adéquat.

#### **IV.2.2 Approche d'anticipation pour les horizons larges**

Nous allons effectuer une étude comparative de méthodes de prévision supportant la saisonnalité selon l'horizon en appliquant le critère d'Akaike pour sélectionner le modèle SARIMA ou SARIMAX avec le nombre optimal de paramètres. Ensuite, en comparant les performances de chaque méthode, ceci nous ramènera à dire, qu'il est intéressant de garder une bibliothèque de méthodes où chacune serait applicable sous conditions en élaborant un module de résolution et d'évaluation : regroupant l'ensemble des méthodes ce qui permet ainsi de faire appel à plusieurs types de représentation, adaptées aux divers horizons et périodes de prévision.

##### ***IV.2.2.1 Identification des chroniques à anticiper***

Suite à une discrétisation du temps, la chronique à anticiper  $X_t$  sera à chaque fois le nombre de patients dans le service pour les différents instants  $t$  pour ces horizons larges. Les indices  $t$  varient d'un horizon à un autre comme le montre le Tableau IV-1.

Pour chaque chronique il est important de définir une période si la méthode de prévision prend en compte la saisonnalité. Nos prévisions se déroulent sur l'année 2013 grâce à l'historique de 2011-2012. Enfin, la comparaison entre la prévision et la réalisation nous permettra d'évaluer la qualité de nos prévisions.

**Tableau IV-1 : Paramètres et protocole d'anticipation pour les horizons larges**

$X_t$	Indice t	Période p	Protocole de la prévision	Méthodes
Nombre de patients par jour	t=1..365	7 : les 7 jours de la semaine	Faire la prévision pour chaque jour de 2013, en considérant l'historique brut de chaque journée, puis en considérant un historique recomposé de jours ayant les mêmes caractéristiques.	HW SARIMA SARIMAX
Nombre de patients par semaine	t=1..365	7 : les 7 jours de la semaine (avec 7 observations dans le futur en commençant par dimanche)	Faire la prévision pour chaque semaine de 2013, en considérant l'historique brute des semaines 2011-2012, puis en considérant un historique recomposé de semaines ayant les mêmes caractéristiques de chaque semaine de prévision valable essentiellement pour les période de vacances.	HW SARIMA SARIMAX
Nombre de patients par mois	t=1..12 de janvier à décembre	12 : les 12 mois de l'année	Faire des prévisions sur 2013 en se basant sur deux périodes correspondant à 2011 et 2012. Nous considérons seulement l'historique brut.	HW SARIMA

#### ***IV.2.2.2 Recomposition de l'historique***

Nous avons parlé dans le Tableau IV-1 de l'emploi d'un historique recomposé pour l'horizon d'une semaine et l'horizon d'un jour. Ceci vient du fait que nous cherchons à calculer au mieux les coefficients saisonniers prenant en compte des caractéristiques externes. En effet, lorsqu'il

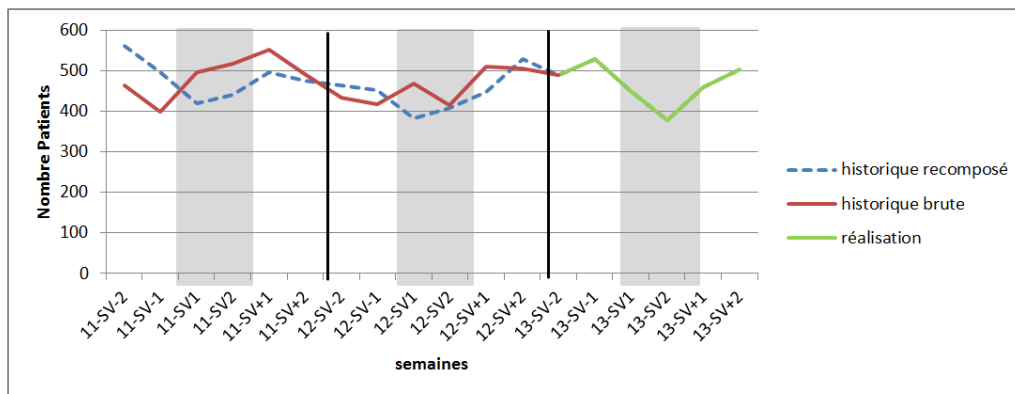


s'agit de vacances, de très basses températures ou de périodes épidémiques, il faut intégrer un historique particulier d'une succession de périodes ayant les mêmes caractéristiques que la semaine ou le jour où on cherche à faire des prévisions. Ceci dit, l'historique brut précédant la prévision ne contient pas forcément ces informations spécifiques mais il ne faut pas le négliger parce qu'il aura plus d'impact sur la tendance.

L'intérêt de la reconstitution de l'historique est de créer une saisonnalité explicite qui a du sens car les vacances scolaires peuvent être décalées d'une année à une autre et les indices des semaines ne coïncident pas de la même manière chaque année. Pareil pour la période épidémique qui est décalée d'une année à une autre.

Le principe est de positionner les périodes des années précédentes ayant les mêmes caractéristiques au début de l'historique tout en gardant d'historique brut récent réalisé avant la prévision.

Nous proposons l'exemple des vacances de printemps 2013 (13-SV1 et 13-SV2) sur la Figure IV-2 : L'axe des abscisses correspond à l'échelle de l'historique recomposé sur lequel nous avons intercalé deux périodes de vacances de printemps 2011 (11-SV1 et 11-SV2) et 2012 (12-SV1 et 12-SV2) avec les deux semaines précédentes et suivantes à chaque fois, créant ainsi deux périodes de 6 semaines successives avant celles de 2013.

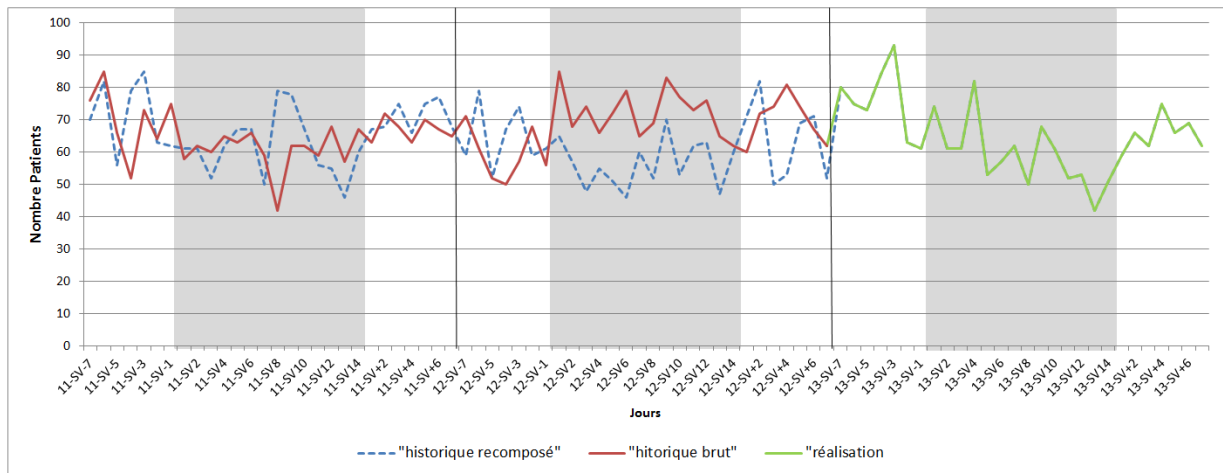


**Figure IV-2 : Recomposition d'historique hebdomadaire pour les vacances de printemps 2013**

Pour l'horizon journalier, c'est la saisonnalité hebdomadaire qui va réguler automatiquement la prévision. Cependant, pour des jours particuliers de l'année, comme ceux des vacances scolaires,

nous allons intercaler deux périodes correspondant aux jours des mêmes vacances dans les années précédentes tout en gardant une période d'historique brut avant la prévision. C'est le même principe que la recombposition de l'historique pour l'horizon hebdomadaire précédemment vu.

La Figure IV-3 montre un exemple de réalisation qui correspond à ce qui s'est réellement passé en 2013 précédé par un historique brut et un historique recomposé.



**Figure IV-3 : Recomposition d'historique journalier pour les vacances de printemps 2013**

Nous pouvons voir que l'historique recomposé met en évidence les chutes en nombre de patients relatives aux périodes de vacances (zones grisées sur la courbe). La prévision tenant compte de l'historique brut aura une période de 28 relatives à (7x4) car nous considérons dans chaque période 4 semaines (2 semaines de vacances + une avant + une après). Ce n'est pas le cas pour l'historique brut qui gardera la période 7.

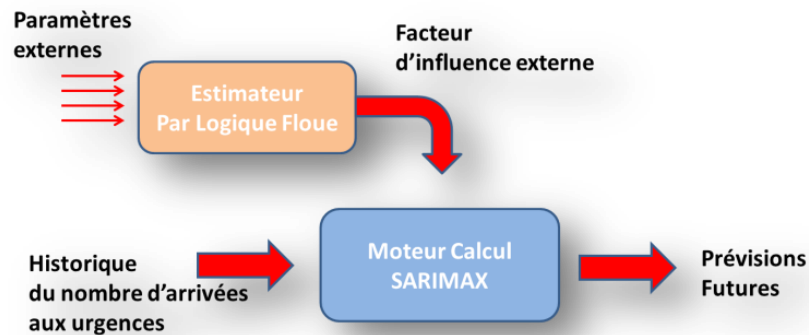
#### ***IV.2.2.3 Modélisation de l'influence externe pour la méthode SARIMAX***

Concernant la méthode SARIMAX, nous exploitons, l'influence externe comme une seule entrée résultante d'une interférence de facteurs externes.

Selon la période de l'année, nous avons des jours où le nombre d'arrivées est fortement influencé par certains paramètres externes. C'est pourquoi nous avons pensé à appliquer le model

SARIMAX. Ce modèle sera hybridé avec un module d'estimation flou pour l'impact des facteurs externes (Figure IV-4).

Le concept est de prédire les valeurs futures à travers des réalisations passées, en tenant compte de la saisonnalité du phénomène et l'influence externe de trois paramètres externes (vacances scolaires, périodes épidémique et la température). Le bloc estimateur flou va donner en sortie un coefficient d'influence externe qui sera à son tour l'entrée exogène du bloc SARIMAX.

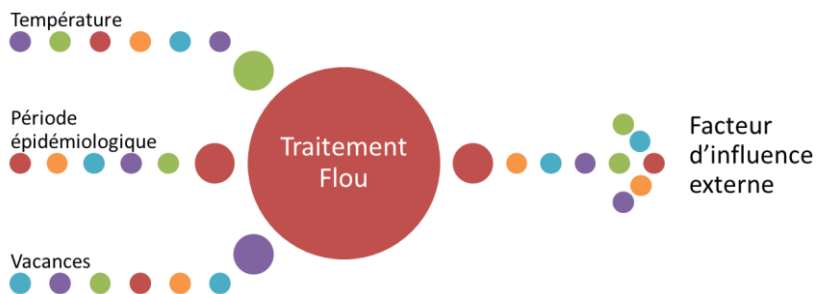


**Figure IV-4 : Diagramme illustratif de l'approche SARIMAX pour la prévision journalière**

Cette combinaison entre prévision par étude de Séries Chronologiques (SC) d'une part et de l'estimation par la Logique Floue (LF) d'autre part était inspirée de l'approche Needing Estimating Agent (NEA) (Kaddoussi et al., 2010) lors d'une application militaire : le modèle de prévision était ARMAX pour AutoRegressive Moving Average with eXogenous input combiné à un moteur flou estimant l'influence des paramètres climatiques sur la consommation des soldats pour un site militaire.

En transposant ce modèle à notre problématique, l'objectif devient comme suit : anticiper le nombre de patients en se basant d'une part sur l'historique des deux années de l'étude, l'aspect saisonnier du phénomène et d'autre part sur l'influence des paramètres externes (vacances scolaires, périodes épidémiques et température) agrégés grâce à cette modélisation floue pour proposer leur impact dans une seule métrique exploitable par la méthode SARIMAX.

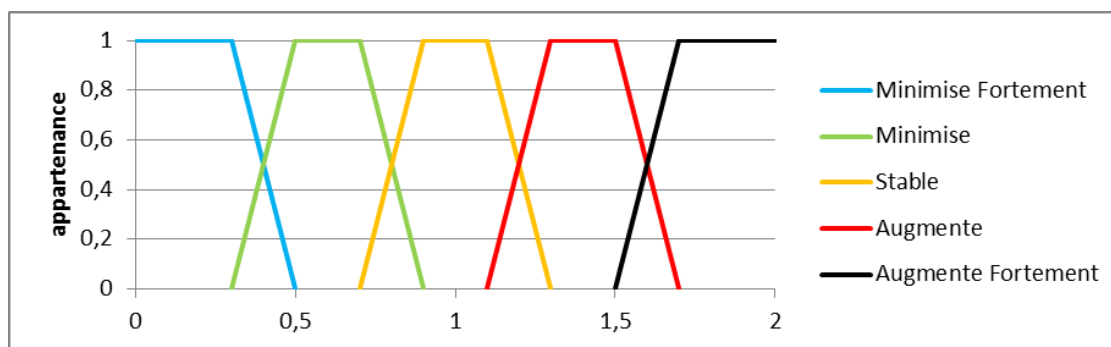
Les paramètres externes: la température, les vacances scolaires et enfin la période hivernale épidémique seront des variables d'entrées pour un module flou comme le montre la Figure IV-5.



**Figure IV-5 : Schéma explicite de la modélisation floue du facteur d'influence externe**

Modéliser l'influence de chaque paramètre à part s'avère plus évidente. Par contre l'influence de plus que deux indicateurs ou plus l'est moins. C'est pourquoi nous avons commencé par établir des classes d'appartenance et des seuils inspirés de l'historique des deux années 2011-2012 de l'étude lors de la phase de fuzzification, pour établir après une base de règles cohérente dans la phase d'Inférence et enfin aboutir à une seule sortie après la défuzzification, ces étapes sont détaillées dans le paragraphe (II.3.2.2).

Nous avons appelé la sortie finale, Facteur d'Influence Externe (FIE), établi en fonction de l'impact des facteurs externes sur le nombre d'arrivées au SU. Il est décrit par 5 sous-ensembles comme le montre la Figure IV-6. Nous avons choisi d'appliquer des fonctions trapézoïdales, puisque le passage d'un état à un autre ne se fait pas brusquement.



**Figure IV-6: Modélisation floue de la variable de sortie « Facteur d'Influence Externe»**

Nous avons choisi de modéliser les jours de la Période Epidémique (PE) en termes d'affluence et de risque de contagion suite aux résultats que nous avons obtenus du réseau sentinelles. L'analyse

statistique sur le nombre de pathologies et de maladies par période et par jour nous a permis de distinguer 3 sous-ensembles selon l'affluence par jour : « Faible », « Moyenne » et « Forte ».

Par ailleurs, les vacances scolaires peuvent modifier l'activité et le profil des épidémies car il y a moins de contaminations en périodes de vacances scolaires. Ainsi nous définissons deux classes « Oui » ou « Non » et enfin pour la météo nous définissons trois classes également « Très faibles » « Moyenne » et « Forte ».

La deuxième étape dans le traitement flou consiste à définir le moteur d'inférence basé sur des règles de décision. Exemple de règle :

- Si PE « Forte » Et Température est « Moyenne » et Vacances « Non » alors  
FIE « Augmente Fortement »
- Si PE « Forte » Et Température est « Très Faible » et Vacances « Non » alors  
FIE « Minimise »
- Si PE « Forte » Et Température est « Très faible » et Vacances « Oui » alors  
FIE « Minimise Fortement »

Evidemment, il ne s'agit pas des seuls paramètres externes influençant l'activité, il est possible de rajouter par exemple l'influence des événements régionaux (comme le cas de quelques matchs du LOSC<sup>9</sup> à Lille où le SUP devient presque désert). Donc, cette approche est ouverte mais limitée par le nombre de combinaisons possibles qui augmente proportionnellement aux nombre de paramètres et d'états qui les décrivent.

De plus, cette base de règles peut différer d'un SU à un autre selon la région ou même le pays. Exemple : un SU dans une zone tropicale ne va pas souffrir de températures très faibles. D'ailleurs nous avons déjà vu le cas de la région Rhône-Alpes où l'activité touristique à risque (montagne et rivière) contribuerait davantage au recours aux SU (ARS-RA, 2013).

Cependant, malgré l'existence de plusieurs paramètres géographiques climatiques et d'autres culturels différents selon le SU. Les définir ainsi que définir les règles de décision relatives ne mettra pas en cause l'application de l'approche SARIMAX qui prendra le FIE qui est l'impact de leur influence en sortie du module flou.

---

<sup>9</sup> Equipe de football lilloise

### **IV.2.3 Approche d'anticipation pour les horizons courts**

Nous anticipons directement la mesure du niveau de tension à la sortie du moteur Flou pour les horizons courts. De plus, nous procédons par reconstitution d'historique afin d'exploiter la triple saisonnalité (hebdomadaire, journalière et horaire) de ce phénomène mis à part l'influence externe. Un algorithme assure la reconstitution de l'historique, en se basant sur le calcul d'un score de vraisemblance journalier.

#### ***IV.2.3.1 Méthodes d'anticipation***

Pour l'horizon horaire, nous allons effectuer une étude comparative de deux méthodes afin de garder la meilleure performance. Les méthodes HW et SARIMA car toutes les deux supportent la saisonnalité.

#### ***IV.2.3.2 Reconstitution de l'historique***

Pour chaque date introduite, un algorithme de reconstitution d'historique basé sur le calcul de vraisemblance journalière est appliqué afin de chercher dans la base de données les réalisations précédentes les plus proches de cette journée type en termes de réalisations, période de l'année, facteurs externes comme le montre l'Algorithme IV-1.

Pour chaque date postérieure à la date introduite, l'algorithme calcule un score de vraisemblance basé sur une pondération de paramètres (numéro de la semaine de l'année, le jour de la semaine, la température max, vacances, épidémiologie, MAPE des réalisations précédentes).

Plus ce score est maximal, plus les caractéristiques des deux jours comparés sont proches. Un score est maximal quand tous les paramètres sont presque similaires puisque la comparaison de certains paramètres tolère des marges relatives de différences. D'autre part, deux jours sont de plus en plus vraisemblables si le MAPE qui représente l'erreur relative absolue entre les deux chroniques de l'historique des deux dates est minimale. Au-delà du nombre autorisé de jours candidats pour cet historique, une mise à jour devient nécessaire à chaque itération pour garder les meilleurs jours candidats à la vraisemblance.

Cette mise à jour consiste à évaluer le score de vraisemblance en le comparant avec les autres scores de vraisemblances des dates candidates déjà stockés. Lors de l'itération, si le nouveau candidat présente un meilleur score de vraisemblance que l'élément le moins avantageux des solutions, il prendra sa place dans le tableau des candidats.

Enfin, les dates candidates pour la reconstitution de l'historique seront classées en fonction de leur MAPE décroissant et seront intercalées avant une période brute de la date à laquelle va se dérouler la prévision.

#### Algorithme IV-1 : Algorithme de reconstitution d'historique basé sur le calcul de vraisemblance journalière

B : Base de données

N : nombre jours candidats

h : dimension de l'historique

p : dimension de la prévision

D[h+1] : SC de la journée candidate de dimension [h+1] à laquelle nous souhaitons faire une prévision

TabCandidats[N][h+1+p] : tableau contenant les SC des N jours candidats ayant le maximum de vraisemblance avec la SC de la journée candidate date

Etape1 : initialisation (date, heure, minutes)

Etape 2 : Recherche des Jours candidats

```
compteur=0
Pour tout jour J ∈ B et J < date
    score=scoreVraisemblance (J)
    Si (compteur<N) alors TabCandidats[compteur]=J[h+1+p]
    Si non Mettre à Jour TabCandidats
    Fin Si
compteur++
Fin Pour
```

Enfin, le but d'anticiper la tension est une façon de prévention contre la tension. D'autres protocoles d'évitement de tension peuvent être déployés à différents niveaux de la crise. C'est ce que nous présentons dans la suite.

### **IV.3 Protocoles d'évitement de tension**

Le MASS vient récemment de publier un guide concernant le dispositif ORSAN (Organisation de la Réponse du Système de Santé en Situations SANitaires exceptionnelles) (MASS, 2015). Ce dispositif remplace désormais le Plan Blanc (MASS, 2006) puisqu'il offre une meilleure coordination régionale.

Il permet d'organiser l'offre de soins afin de pouvoir réaffecter les ressources au regard des priorités identifiées, renforcer les moyens locaux (rappel du personnel hospitalier, renforcement de la permanence des soins ambulatoires, ouverture de lits supplémentaires...) et enfin si les moyens locaux sont insuffisants, des moyens nationaux peuvent être déployés, notamment par le biais de la mobilisation de réservistes sanitaires de l' Etablissement de Préparation et de Réponse aux Urgences Sanitaires (EPRUS), en particulier des professionnels de santé remplaçants, retraités, non exerçants et étudiants.

ORSAN comprend 5 volets qui servent à organiser les soins quand l'une des 5 situations susceptibles d'impacter le système de santé survient. Chacun des 5 volets correspond à des modalités d'organisation de l'offre de soins spécifiques :

- Accueil massif de victimes non contaminées (« ORSAN AMAVI ») ;
- Prise en charge de nombreux patients suite à un phénomène climatique (« ORSAN CLIM ») ;
- Gestion d'une épidémie ou pandémie sur le territoire national, pouvant comprendre l'organisation d'une campagne de vaccination exceptionnelle par le système de santé (« ORSAN EPI-VAC ») ;
- Prise en charge d'un risque biologique connu ou émergent (« ORSAN BIO ») ;
- Prise en charge d'un risque NRC (« ORSAN NRC »).

Cependant, de tels dispositifs doivent être déployés dans des situations extrêmes de crise non maîtrisables et il est important de penser à des actions avant de les atteindre. Des actions préventives susceptibles de réguler les flux patients. Dans ce contexte de prévention, il est



possible de proposer des solutions comme l'ont déjà fait plusieurs travaux comme (Derlet and Richards, 2008) (Jlassi, 2009) (Handel et al., 2010) et (Liu et al., 2013). Cependant, jusqu'à quel degré et par quels moyens ils sont réalisables car plusieurs contraintes réglementaires et essentiellement budgétaires pourraient bloquer la mise en œuvre de ces solutions.

Les protocoles d'évitement de tension trouvés dans la littérature peuvent être résumés en dix points :

1. Accroître la capacité du service et de l'hôpital
2. Rendre plus flexible la réglementation
3. Favoriser les soins aux cas urgents réels
4. Fournir des alternatives pour les soins non urgents
5. Arrêtez de placer les patients admis à l'hôpital aux urgences par manque de lits en aval
6. Débloquent le service d'imagerie en cas de saturation
7. Changer les modes d'admission et favoriser la réorientation
8. Développer les rôles des infirmières et les soins de couloir
9. Appelez en premier un service téléphonique d'assistance
10. L'anticipation de la demande

Nous allons proposer dans la suite un ensemble de diagnostics et de protocoles concrets d'évitement de tension que nous déployons via SAGeT.

#### **IV.3.1 Classement des patients par priorité et optimisation de l'allocation de ressources**

Afin de mieux gérer la tension en minimisant les indicateurs de tension : RDO, RDA et RAT, en respectant les bonnes pratiques médicales et éthiques, un outil de gestion et de planification de l'activité est nécessaire afin d'optimiser le recours aux ressources.

Nous avons choisi un protocole de classement des patients à un instant  $t$  avec ordre de priorité sur un tableau de bord. Il vise à aider les praticiens à distinguer quel est le patient à voir en premier lieu et selon quelle priorité. En effet, nous appliquons des règles de priorités cohérentes établies avec l'aide des praticiens respectant les bonnes pratiques médicales et employant les

indicateurs de qualités spécifiques aux progressions des traitements. Nous définissons ainsi six règles ordonnées selon différentes caractéristiques des profils des patients :

- **Priorité 1** : Les patients en attente de leurs PPC et ayant des CCMU supérieur ou égal à 3  
Action 1.1 : tri selon ordre décroissant des CCMU  
Action 1.2 : Pour les CCMU similaires, tri selon un ordre croissant de  $CR_{i,t}$
- **Priorité 2** : Les patients susceptibles d'être contagieux  
Action 2 : tri selon un ordre croissant de  $CR_{i,t}$
- **Priorité 3** : Les nourrissons (âge < 2 ans)  
Action 3 : tri selon un ordre croissant de  $CR_{i,t}$
- **Priorité 4** : Les patients ayant des faibles CCMU (1 et 2) en attente pour leurs PPC au-delà de  $w_{mn}$  ( $TA_{i,t} > 1$ )  
Action 4 : tri décroissant selon les  $TA_{i,t}$
- **Priorité 5** : Les patients en dépassement  
Action 5 : tri décroissant selon les  $CD_{i,t}$
- **Priorité 6** : Le reste des patients selon un ordre croissant de  $CR_{i,t}$   
Action 6 : tri croissant selon les  $CR_{i,t}$

Le classement que nous proposons aux praticiens n'est qu'une aide à la décision et ne les oblige à le respecter. Plusieurs paramètres ne sont pas pris en compte dans ce problème de classement. En effet, il s'agit d'un problème d'ordonnancement plus complexe soumis à des contraintes de disponibilités de ressources et à d'autres objectifs des points de vue personnel et politique de l'établissement, il sera développé dans les travaux de (Ben Othman, 2015)

#### **IV.3.2 Détecter la source de défaillance afin de proposer des diagnostics**

Grace à la base de connaissances (matrice de décision) qui est basée sur des règles d'inférence faisant le lien entre les états d'indicateurs de tension en entrée et le niveau de tension globale, nous pouvons émettre un diagnostic de l'état de SU. Tout d'abord, nous émettons pour chaque règle d'inférence un diagnostic suite à la génération finale des règles floues.

Proposer le diagnostic se fait en parallèle avec la phase de défuzzification puisque nous pouvons déduire quelle règle était le plus influente sur la surface de décision et proposer ainsi son

diagnostic relatif. La règle la plus influente sur la surface de décision est celle qui propose la valeur maximale attribuée à l'un des sous-ensembles flous de la sortie.

Nous émettons un diagnostic relatif à la conclusion d'inférence ayant la valeur maximale. Ce diagnostic propose une aide à la décision permettant aux praticiens de suivre les indicateurs responsables d'un éventuel cas de tension.

Dans le cas d'une égalité de deux conclusions d'inférence ou plus, les deux diagnostics seront combinés en enlevant les éventuelles redondances et/ou incohérences. Nous proposons la mise en œuvre de ces diagnostics relatifs aux règles de décision dans l'Annexe 4.

#### **IV.4 Conclusion**

L'existence de dispositifs de gestion de crise extrêmes dans les systèmes de soins est indispensable pour la prévention des catastrophes pouvant mettre en péril des vies humaines. Néanmoins, il est très dangereux de se baser exclusivement sur ces dispositifs pour lutter contre la tension extrême à cause des difficultés logistiques et économiques liées à leur déploiement.

En effet, il est nécessaire d'anticiper la demande sur plusieurs horizons et proposer des solutions au quotidien permettant de réguler les flux de patients et maîtriser l'activité. Ainsi nous avons élaboré un système hybride d'anticipation à horizon glissant adaptatif.

D'autre part, nous proposons plusieurs mesures d'évitement de tension en détectant les sources de défaillance en se basant sur les états des indicateurs de tension afin de proposer un diagnostic aux praticiens leur permettant d'agir en ciblant la source de la crise. Dans le chapitre suivant nous verrons plus en détails le déploiement de ces mesures préventives de tension.

**V. CHAPITRE V. Résultats et Simulations**

## V.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de notre étude en quatre parties : la première partie regroupe les résultats des analyses statistiques relatives aux données du SUP Jeanne de Flandre du CHRU de Lille. Ces analyses détaillent les caractéristiques des chroniques de fréquentation et les facteurs externes l'influençant ainsi que les caractéristiques des DP des patients dans l'USE. La deuxième partie est consacrée à l'étude de la distribution des indicateurs de tension et leur fuzzification ainsi qu'aux résultats de leur agrégation floue. La troisième partie traite les résultats de l'anticipation pour tous les horizons étudiés. Enfin, la quatrième partie est consacrée à la présentation du SAGeT des points de vue conception, architecture et services offerts ainsi qu'à la présentation des scénarios de simulation mettant en œuvre l'application de nos approches.

## V.2 Analyses statistiques relatives au SUP Jeanne de Flandre du CHRU de Lille

Le SUP Jeanne de Flandre au CHRU de Lille reçoit environ 24 000 visites par an soit en moyenne 458 par semaine et 66 par jour répartis en 20% en UHCD et 80% en USE. Il comporte 10 lits en UHCD, 4 box de consultation en USE, une salle de suture, une salle de plâtre, une SAUV et enfin 2 salles d'attente. Néanmoins, il arrive de transformer des lits vacants en UHCD en box d'examen pour répondre à la demande dans des cas de forte tension. Quant aux ressources humaines, le Tableau V-1 résume leur répartition horaire.

**Tableau V-1 : Répartition horaire du personnel médical**

	Infirmières	Internes			PH	total
		chirurgien	pédiatre	MG		
9h-18h	2	1	3	1	2	9
19h-23h	3 (2 en été)	1	2 (1 en été)	1	1	8 (6 en été)
0h-8	2	1	1	0	1	5

Nous avons analysé un échantillon de données sur une période de presque trois ans, de janvier 2011 à novembre 2013. Les données patientes ont suivi un protocole d'anonymisation respectant les recommandations de la CNIL<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> <http://www.cnil.fr/>

### V.2.1 Analyse des chroniques de fréquentation du SUP selon différents horizons

Les Figure V-1, Figure V-2 et la Figure V-3 affichent respectivement le nombre total des patients par mois, par semaines et enfin par jours pour les 3 années de l'étude.

Les variations mensuelles sont presque identiques et dépendent de certaines périodes de l'année. La représentation de la Fonction ACF, dite aussi corrélogramme sur la Figure V-4 montre un pic avec décalage de 12 intervalles, reflétant la corrélation des données à chaque période de 12 mois et ainsi la saisonnalité pour chaque période de 12 mois.

Les variations hebdomadaires sur la Figure V-2 affichent des creux pour les vacances et des pics pour la période épidémique. Hors vacances d'été, l'information était moyennée et perdue dans la chronique mensuelle. Nous ne pouvons pas parler de saisonnalité hebdomadaire sur l'année mais nous pouvons exploiter la saisonnalité journalière des 7 jours de la semaine. En effet, nous avons détecté une saisonnalité relative aux jours de la semaine visible sur le corrélogramme de la Figure V-5 qui affiche bien des pics récurrents avec un intervalle de 7 correspondant à la période 7.

La Figure V-3 montre la fréquentation journalière où le phénomène devient moins stable suite à l'apparition des détails de variations auparavant absorbées dans les vues les plus macros. Nous notons 3 pics remarquables pour chaque année : 119 le 27/11/2011, 97 le 19/02/2012 et 100 le 07/02/2013 sachant que la moyenne journalière est de 66 patients.

Enfin nous affinons l'horizon jusqu'à arriver à la base horaire. Nous ne pouvons pas mettre en évidence la saisonnalité graphiquement pour cet horizon. Cependant, le corrélogramme relatif dans la Figure V-6 montre une saisonnalité horaire possédant une période égale à 24, relative aux 24 heures de la journée.

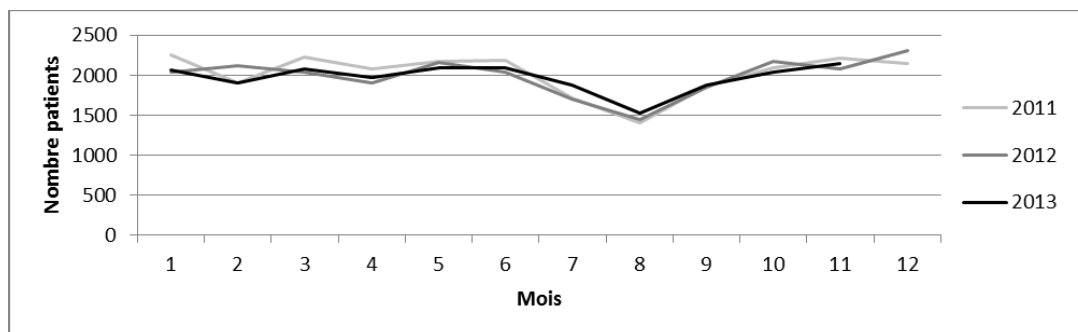
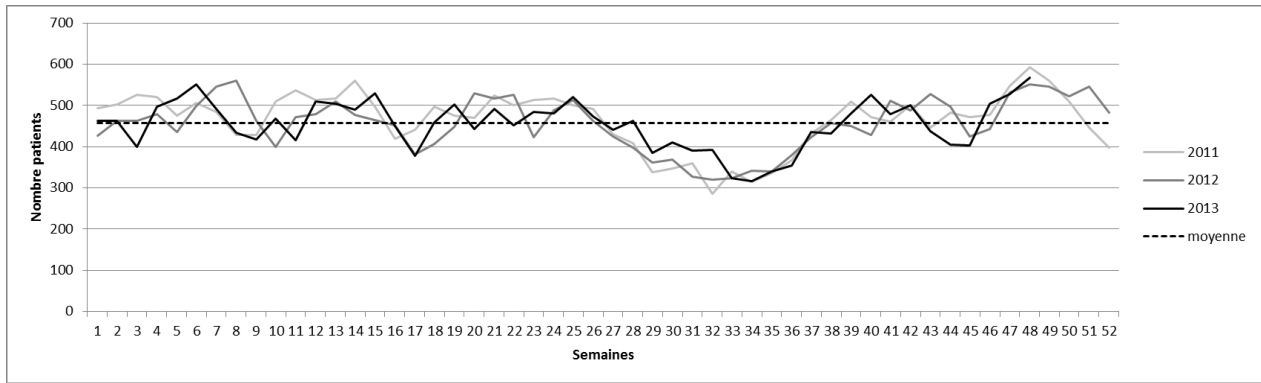
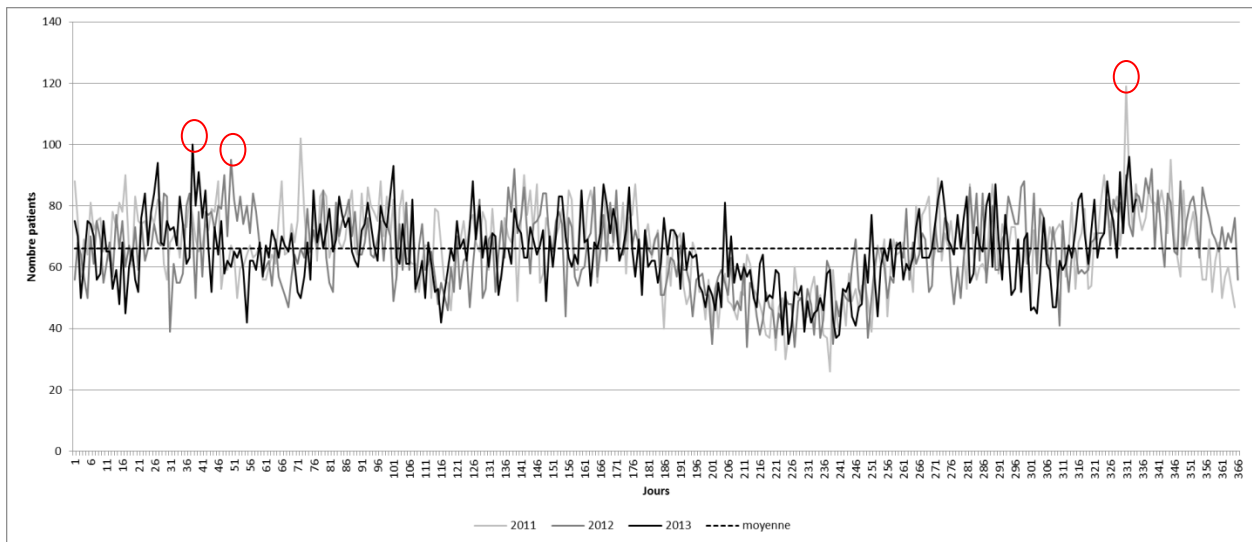


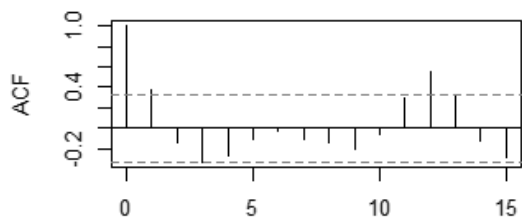
Figure V-1 : Nombre total de patients par mois au SUP Jeanne de Flandre



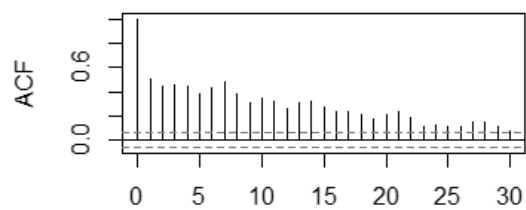
**Figure V-2 : Nombre total de patients par semaine au SUP Jeanne de Flandre**



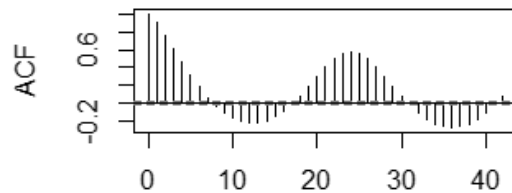
**Figure V-3 : Nombre total de patients par jour au SUP Jeanne de Flandre**



**Figure V-4 : Corrélogramme relatif à la chronique mensuelle**



**Figure V-5 : Corrélogramme relatif à la chronique journalière**



**Figure V-6 : Corrélogramme relatif à la chronique horaire**

L'intérêt d'une anticipation est de plus en plus intéressant en affinant l'horizon. Le mieux est d'adopter une échelle horaire pour donner une marge d'action efficace et une vraie possibilité de prévention. Cependant, les horizons plus larges servent de moyens d'information et de gestion.

### V.2.2 Analyse des facteurs externes influençant la fréquentation du SUP

Différents facteurs externes influencent le recours aux SUP. Il est important d'en tenir compte afin d'ajuster les prévisions. Nous commençons par étudier l'impact des *vacances scolaires* : le Tableau V-2 indique les numéros des semaines de vacances afin de pouvoir les identifier sur la Figure V-2. La baisse du nombre de patients par rapport à la période d'activité qui entoure chaque période de vacances (un mois avant et un mois après) est de l'ordre de : 25% pour les vacances d'été, 15% pour les vacances de Noël, d'hiver et de printemps et enfin 8% pour les vacances de Toussaint.

**Tableau V-2 : Vacances scolaires de 2011 à 2013 en Zone B** <sup>11</sup>

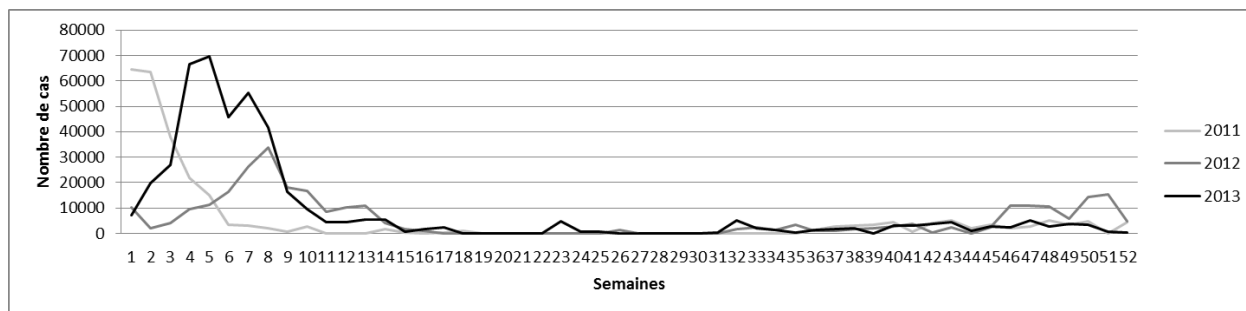
	2011	2012	2013
Hiver	Semaines 8-9	Semaines 9-10	Semaines 8-9
Printemps	Semaines 16-17	Semaines 17-18	Semaines 16-17
Eté	Semaines 27-35	Semaines 28-35	Semaines 28-35
Toussaint	Semaines 43-44	Semaines 44-45	Semaines 43-44
Noël	Semaines 51-52	Semaines 52-1	Données indisponibles

Maintenant nous allons étudier l'impact de la *période épidémique* qui s'étend généralement du 15 novembre jusqu'au 31 mars de chaque année où le SUP Jeanne de Flandre reçoit en moyenne 73 patients par jour hors vacances scolaires, soit 511 patients par semaine. Ce qui représente une hausse de 10% par rapport à la moyenne. Cette hausse est essentiellement causée par 3 infections épidémiques annuelles : bronchiolites à VRS, gastro-entérites à rotavirus, et gripes. Les pics dans cette période varient de quelques semaines d'une année à l'autre.

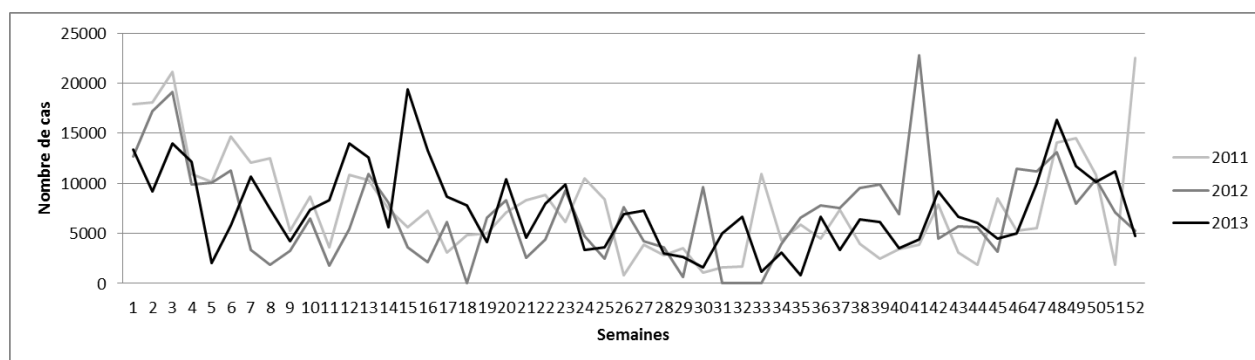
La Figure V-7 et la Figure V-8 représentent le nombre de cas recensés par le Réseau Sentinelles<sup>12</sup> dans la région Nord-Pas de Calais (NPDC) pour les infections et maladies principales durant les 3 années de l'étude : les syndromes grippaux et la gastro-entérite.

<sup>11</sup> <http://www.education.gouv.fr>





**Figure V-7 : Nombre de cas recensés pour les syndromes grippaux au NPDC**



**Figure V-8 : Nombre de cas recensés pour la gastro-entérite au NPDC**

Nous pouvons remarquer que les premières vagues des cas de grippe au début de chaque année provoquent des pics sur les mêmes périodes relatives de chaque année (Figure V-2) : en 2011 c'était au début de janvier pendant les semaines 1-5, en 2012 c'était pendant les semaines 6-14 et en 2013 pendant les semaines 2-9. Le même phénomène reprend vers la fin de l'année.

Les cas de gastroentérites sont distribués fortement tout au long de l'année présentant des pics importants en début et fin d'année. Chez l'adulte, une gastro-entérite aiguë virale ne demande pas un soin en urgence car elle est le plus souvent bénigne, par contre toute gastro-entérite est potentiellement grave chez l'enfant et le nourrisson. En effet, due à la déshydratation rapide, un enfant ou un nourrisson doit être traité de toute urgence pour être réhydraté rapidement. D'ailleurs il s'agit de la première cause de visite au SUP Jeanne de Flandre. De plus, dû à son caractère fortement contagieux, plusieurs patients sont victimes de gastroentérites par la simple visite et l'attente. En plein pic épidémique de gastro-entérite, les retours sont assez fréquents. Nous pouvons voir par exemple, l'impact du pic rouge de la semaine 41 de l'année 2012 sur le nombre d'arrivée au SUP sur la Figure V-2 relative aux arrivées par semaine.

<sup>12</sup> <https://websenti.u707.jussieu.fr/sentiweb/>

Malgré le fait que ces graphiques prennent en charge tous les cas recensés dans la région NPDC tout âge confondu, ils peuvent refléter directement les périodes épidémiques à risque puisque nous pouvons remarquer une concordance de périodes avec les pics sur la Figure V-2.

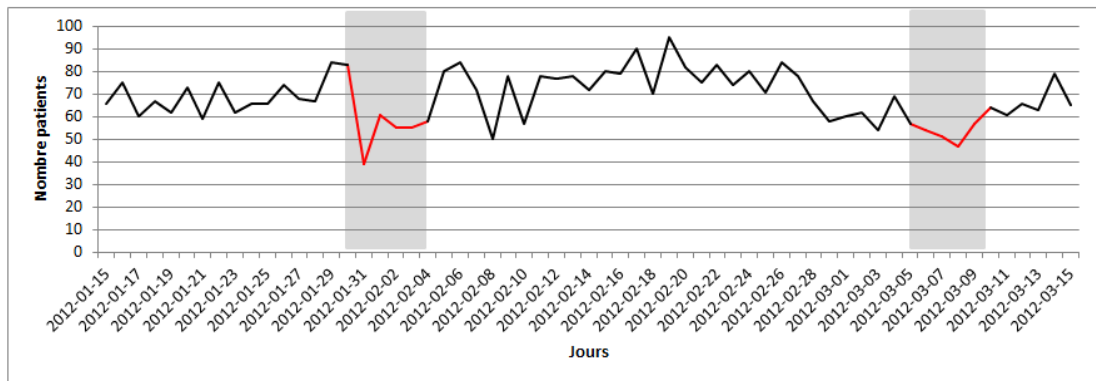
Enfin, nous avons détecté un autre facteur externe qui est la *température* puisque que pour des hausses ou baisses inhabituelles de température, le nombre d'arrivées au service est impacté. Pendant l'hiver 2012 par exemple, il y a eu deux séries de chutes brusques de température dans la région comme le montrent les Tableau V-3 et Tableau V-4. La Figure V-9 affiche le nombre de patients décroître entre le 29 janvier et le 04 février (première période) puis affiche le même phénomène entre le 05/03/2012 et le 09/03/2012 (deuxième période).

**Tableau V-3 : Températures max et min du 26/01/2102 au 05/02/2012 <sup>13</sup>**

Date	26/01	27/01	28/01	29/01	30/01	31/01	01/02	02/02	03/02	04/02	05/02
T° max	9.7 °c	9 °c	4.4 °c	1.4 °c	-0.4 °c	1.6°c	-1.8°c	-1.9°c	-0.4°c	-3.3°c	- 3.5°c
T° min	4.8 °c	-0.3 °c	1.9 °c	-0.1 °c	-1.4 °c	-2.9°c	-6.9°c	-7.8°c	-9.3°c	-11.8°c	- 9°c

**Tableau V-4 : Températures max et min du 01/03/2102 au 11/03/2012**

Date	01/03	02/03	03/03	04/03	05/03	06/03	07/03	08/03	09/03	10/03	11/03
T° max	10.1 °c	9.4 °c	12.4 °c	10.8 °c	2.5 °c	6 °c	7.3°c	9.4°c	9.8°c	13.9°c	15°c
T° min	7.4 °c	7 °c	8 °c	4.6 °c	0.2 °c	1.8°c	-0.5°c	0.9°c	2.3°c	7.8°c	8.4°c



**Figure V-9 : Nombre d'arrivées au SUP entre le 30/01/2012 et le 15/03/2012**

<sup>13</sup> Source : <http://www.meteociel.fr> (Tableau d'observations pour Lille)

### V.2.3 Analyse statistique des DP

Nous avons considéré les deux tiers des données (2011-2012) comme Base de Construction (BC) et un tiers (2013) pour la Base de Validation (BV) : ainsi la BC comprend 37 722 dossiers après la suppression des fichiers présentant des incohérences de données ou des erreurs de saisie tandis que la BV comprend les 11 premiers mois de 2013 soit 17 027 dossiers patients.

La médiane des DP de tous les dossiers patients sans segmentation en USE était de 132 min (EI 87-196). Cependant, pour affiner cette DP, nous avons choisi de traiter des groupes de patients par le couple de variables (diagnostic, nombre d'examens complémentaires) comme nous l'avons expliqué dans le paragraphe (III.2.1.1). Il existe au plus quatre examens complémentaires possibles (biologie, radiologie, scanner et échographie) et nous énumérons 1186 diagnostics (codés de 1 à 1186 en fonction de leurs fréquences).

Pour chaque couple (diagnostic, nombre d'examens complémentaires) nous considérons seulement des groupes contenant un nombre significatif de patients (au moins 30) pour calculer la médiane de leurs DP. Les durées de la BV étaient en étroite corrélation avec les durées de la BC avec un coefficient de corrélation  $r^2 = 0,97$ .

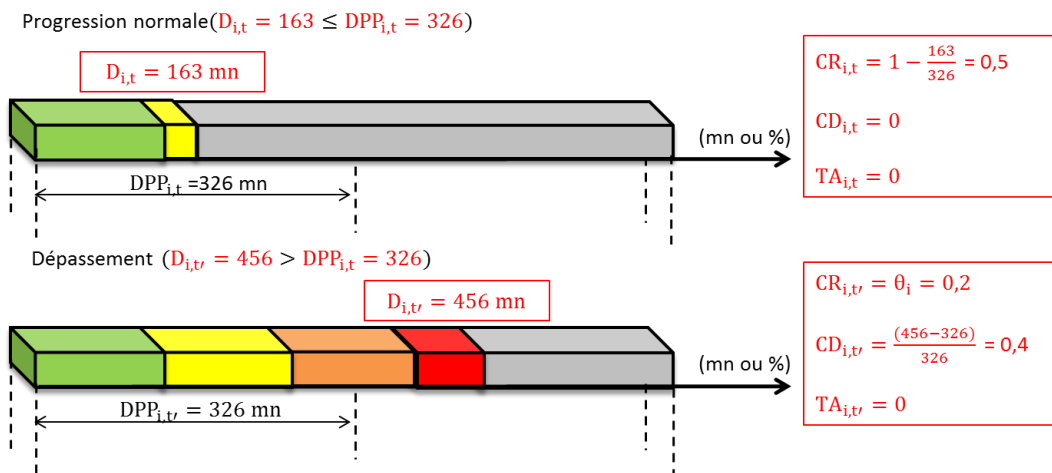
Afin de vulgariser cette segmentation et donner un ordre de grandeur aux DP selon les différents profils, nous avons fait un tri croissant des médianes des DP pour proposer dans le Tableau V-5 les cinq médianes les plus faibles et les cinq les plus importantes. Les durées de traitements sont très différentes et plus des examens sont prescrits plus les DP s'allongent.

Tableau V-5 : Exemples de quelques médianes des DP (en min)

Les plus faibles		Les plus importantes	
(m, e)	$\overline{d_{m,e}}$	(m, e)	$\overline{d_{m,e}}$
Luxation de la tête radiale,0	58	douleurs articulaires, 3	350
Hydrocèle,0	77	douleurs abdominales, 2	329
Présence de gastrostomie,0	81	gastroentérite, 2	326
caries dentaires,0	81	douleurs articulaires,2	315
entorse,0	82	rhinopharyngite (aigue) , 2	315

En comparant les deux cas extrêmes nous pouvons mettre en évidence l'intérêt de cette modélisation : quand un patient souffrant de douleurs articulaires et ayant 3 examens complémentaires passe 350min soit 5h50min, ceci est perçu comme une durée Moyenne. Tandis que cette même durée serait qualifiée de Très Elevée pour le diagnostic « Luxation de la tête radiale » avec zéro examen qui ne demande que 58min en moyenne.

Nous proposons à titre d'exemple dans la Figure V-10, la représentation de la progression lors d'un traitement d'une gastroentérite avec 2 examens complémentaires à deux instants différents pour mettre en évidence les zones d'alerte et le calcul des indicateurs spécifiques au patient énoncés dans les formules (III.1) (III.2) (III.3).



**Figure V-10 : Progression pour un cas de gastroentérite avec 2 examens complémentaires**

Dans cet exemple, le patient a passé 163min soit 2h43min à l'instant t, ce qui est équivalent à 50% de la progression estimée pour ce profil et se trouve ainsi dans une zone d'alerte « F ». Il s'agit d'un scénario de Progression Normale puisque la DPP n'a pas été dépassée : nous obtenons 50% de Charge Restante de soin et 0 % de Dépassement. Tandis qu'à l'instant t' le patient a passé 456min soit 7h36min ce qui correspond à une zone d'alerte « E ». Sans intervention de médecin traitant, nous estimons qu'il reste 20% de Charge Restante de soin en affectant le coefficient  $\theta_i$  au  $CR_{i,t}$  et il existe un dépassement de 40% équivalent à 130min supplémentaires.

Le calcul des indicateurs spécifiques à un patient permet de calculer les indicateurs généraux de tension. Nous proposons dans la partie suivante les résultats de l'évaluation floue de la tension qui est basée sur ces indicateurs.

### V.3 Résultats de l'évaluation floue de la tension

Nous commençons par l'étude de distribution et la fuzzification des indicateurs de tension en entrée avant de passer à leur agrégation pour proposer à la fin les résultats de la tension.

#### V.3.1 Fuzzification des indicateurs de tension

Nous présentons dans la suite la distribution temporelle de chaque indicateur en proposant ses fonctions limites dans le temps  $LQ(t)$ ,  $Med(t)$ ,  $UQ(t)$  et  $UW(t)$  tel que nous les avons définies dans le paragraphe (III.3.1.1) via des représentations graphiques. Nous marquons à chaque fois les seuils flous (f, m, e, d) comme nous les avons calculés via l'Algorithme III-2.

**Ratio Demande sur Offre (RDO) :** La Figure V-11 présente sa distribution. Il croit progressivement de 8h jusqu'à 21h avec une vitesse plus importante avant midi puisqu'il y a plus d'arrivées que de sorties. Par contre, à partir de 21h, il commence à décroître jusqu'à 8h. De plus, il peut atteindre trois pics journaliers en considérant les seuils les plus élevés d' $UW(t)$  : le premier est entre 11h et 12h, le deuxième est entre 14h et 15h et le troisième qui est plus important est entre 20h30 et 21h30 car c'est l'heure où les parents sont plus disponibles.

**Ratio d'Attente Totale (RAT) :** La Figure V-12 présente sa distribution où il est au moins à 75% inférieur à 1 si on considère la fonction limite  $UQ(t)$ , c'est-à-dire au moins 75% des patients ont une PPC dans les premières 20 minutes qui suivent leurs entrées au SUP à tout instant  $t$  de la journée exceptée à 21h où nous remarquons un léger dépassement de 1. Ce ratio peut atteindre quatre pics bien distincts en considérant les seuils les plus élevés d' $UW(t)$  : deux premiers pics existent entre 11h30 et 14h30 et deux autres existent entre 21h et minuit. Ce visuel confirme qu'il s'agit d'une conséquence directe de la tension vu que ces pics se produisent en parfaite concordance avec les pics du RDO.

**Ratio de Dépassement Total (RDT) :** La Figure V-13 présente sa distribution où il peut atteindre deux pics en considérant les seuils les plus élevés d' $UW(t)$  : le premier est entre 15h et 18h et le deuxième est entre 23h30 et 00h30. Ce visuel confirme qu'il s'agit bel et bien d'une conséquence de tension vu le décalage dans le temps par rapport aux deux derniers pics du RDO (Figure

V-11). En effet, suite à une forte hausse de la demande par rapport à l'offre, les DP s'allongent car les ressources deviennent plus partagées et moins disponibles.

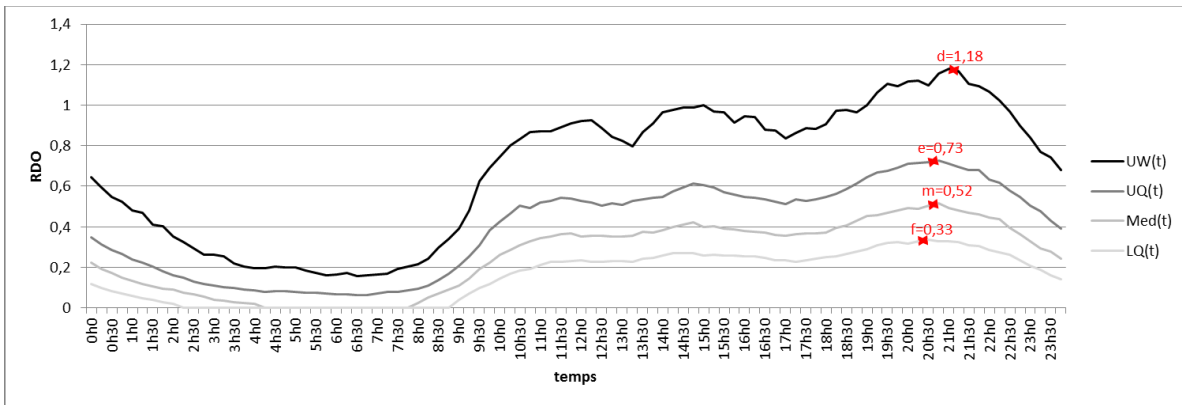


Figure V-11 : Distribution du RDO au cours de la journée

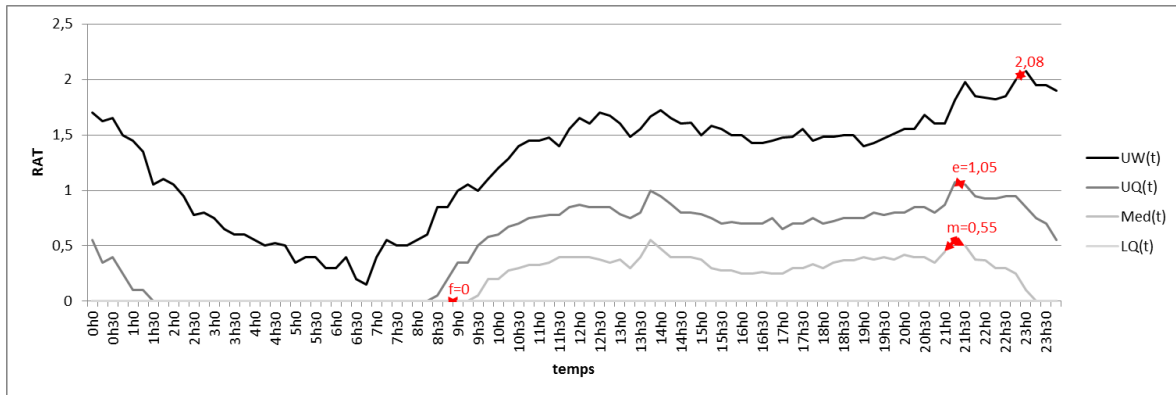


Figure V-12 : Distribution du RAT au cours de la journée

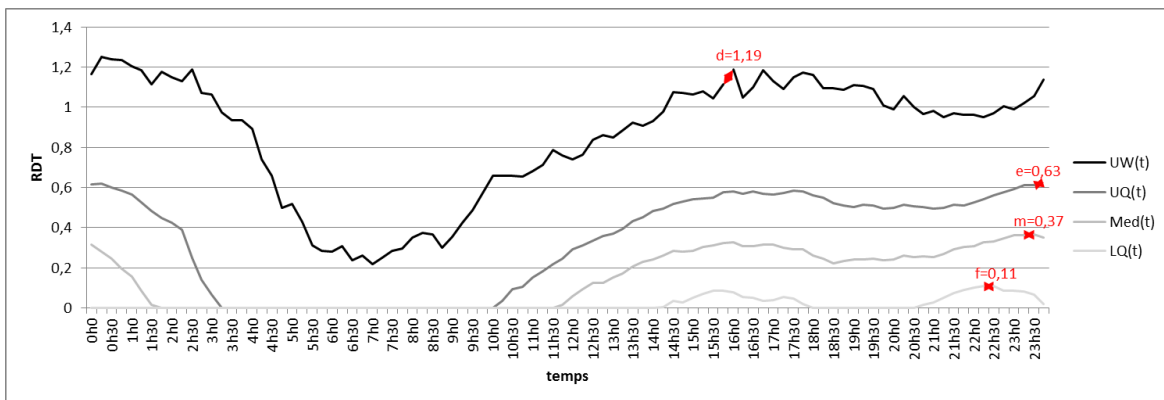


Figure V-13 : Distribution du RDT au cours de la journée

Enfin, nous remarquons que la partie nocturne entre 02h00 et 07h00 ne présente pas de période à risque ou de tension vue que la demande est toujours très faible dans cette période,

essentiellement la partie entre 4h jusqu'à 7h et ceci est valable pour les trois indicateurs. Il s'agit d'une période creuse où tous les indicateurs atteignent leurs valeurs minimales. Ainsi, tenant compte de cette analyse statistique par tranche horaire, nous proposons dans le Tableau V-6 les seuils dégagés automatiquement pour répondre à la fuzzification (Figure III-6).

**Tableau V-6 : Seuils de fuzzification pour les indicateurs clés**

	RDO	RAT	RDT
f	0,33	0	0,11
m	0,52	0,55	0,37
e	0,73	1,05	0,63
d	1,18	2,08	1,19

### **V.3.2 Base des règles d'inférence et diagnostics de tension**

En adoptons le protocole décrit dans le paragraphe (III.3.2) pour la génération de la matrice de décision des règles floues, nous avons établi la matrice de décision relative à notre problématique affichée en Annexe 4. Grâce à cette base de règles, nous avons pu déceler des diagnostics. En effet, le recours aux termes linguistiques : Faible « F », «Moyen « M » et Elevé « E » pour déduire un niveau de tension de N1 à N10, offre un langage qui facilite la coopération avec les différents métiers impliqués.

Nous avons traité les 27 règles ( $3^3$ ) par trois lots. Chaque lot est relatif à un état du RDO puisqu'il s'agit de l'indicateur principal de la tension. Ensuite, pour chaque lot composé de 9 règles, nous nous positionnons dans des configurations réelles avec un descriptif de la situation. Ainsi, nous proposons des conclusions cohérentes avec l'existant et le ressenti de la tension et des diagnostics relatifs. Chaque diagnostic implique un certain nombre d'indicateurs responsables de la tension qui doivent être surveillé comme le montre l'Annexe 4.

Cette étude est faite sur la BC (2/3 des données) et a été validée par la BV (1/3 des données). Il s'agit d'une démarche d'ajustements itérative comme le montre la Figure III-8, qui repose sur une expertise humaine. Les avis des experts conditionnent cette base de connaissance.

Cependant il est évident qu'il existe des règles plus redondantes que d'autres. D'ailleurs, la règle la plus redondante est la règle numéro 1 avec 33% d'occurrence, c'est la situation la plus visible

surtout dans la partie nocturne où tous les indicateurs sont faibles. Tandis que la règle 19 est la plus rare avec 0,1% d'occurrence car elle contient une contradiction implicite vu qu'il est rare d'avoir un  $RDO_t \llcorner E \gg$  sans longues attentes et sans longs dépassement.

- Règle 1 (33 %) : Si  $RDO_t \llcorner F \gg$  **Et**  $RAT_t \llcorner F \gg$  **Et**  $RDT_t \llcorner F \gg$  **Alors**  $NT_t \llcorner TF \gg$
- Règle 19 (0,1 %) : Si  $RDO_t \llcorner E \gg$  **Et**  $RAT_t \llcorner F \gg$  **Et**  $RDT_t \llcorner F \gg$  **Alors**  $NT_t \llcorner E \gg$

Enfin, nous proposons un jour échantillon de haute tension pour valider l'évaluation globale du moteur flou avec différents scénarios d'évaluations dans le paragraphe (V.5). Nous pouvons vérifier pour chaque évaluation, les règles d'inférence impliquées pour la construction de la surface de décision afin d'ajuster les conclusions vers une hausse ou une baisse selon le ressenti.

### V.3.3 Résultats de l'agrégation floue

Nous avons choisi d'évaluer la tension sur une échelle de 1 à 100 en agréant trois indicateurs reflétant la tension sur différents aspects (Figure III-1). Nous proposons maintenant les résultats de l'évaluation de la tension en sortie du moteur flou. De plus, nous définissons cinq zones d'alerte caractérisées par des codes couleurs d'alerte : Vert, Jaune, Orange, Rouge ou Noir relatifs aux 20% successifs de l'échelle de tension comme le montre la Figure V-14.

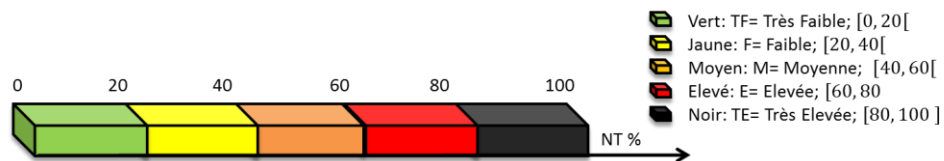
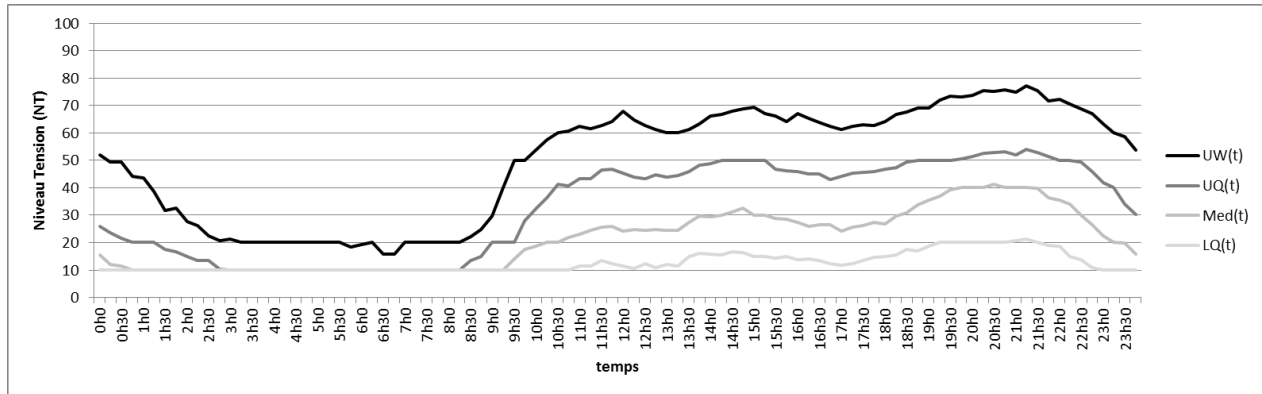


Figure V-14 : Couleurs des voyants d'alertes selon le Niveau de Tension (NT)

L'étude statistique des résultats obtenus nous a permis de dégager la Figure V-15 qui affiche la distribution du niveau de tension au cours de la journée en appliquant le même protocole des fonctions limites  $LQ(t)$ ,  $Med(t)$ ,  $UQ(t)$  et  $UW(t)$  précédemment vu pour les indicateurs d'entrée. La tension est toujours faible à partir 2h jusqu'à ce que l'activité reprenne à 9h le matin. Pour les cas extrêmes, au-delà du seuil  $UW(t)$ , le SUP peut être victime de 3 pics quotidiens importants de tension : le premier est à 12h, le deuxième est à 15h, le troisième qui est plus important est à 21h. Ce constat vient confirmer les observations des praticiens.



La corrélation de la tension avec le RDO est importante et elle est égale à 90%. Elle paraît évidente même graphiquement. L'impact du RDT et RAT est ressenti seulement si c'est deux derniers sont à l'état « F », ce qui est plus rare au cours de la journée. C'est pourquoi la corrélation de la tension est égale à 14% avec le RDT et elle est égale à 21% avec le RAT.



**Figure V-15 : Distribution du niveau de tension au cours de la journée**

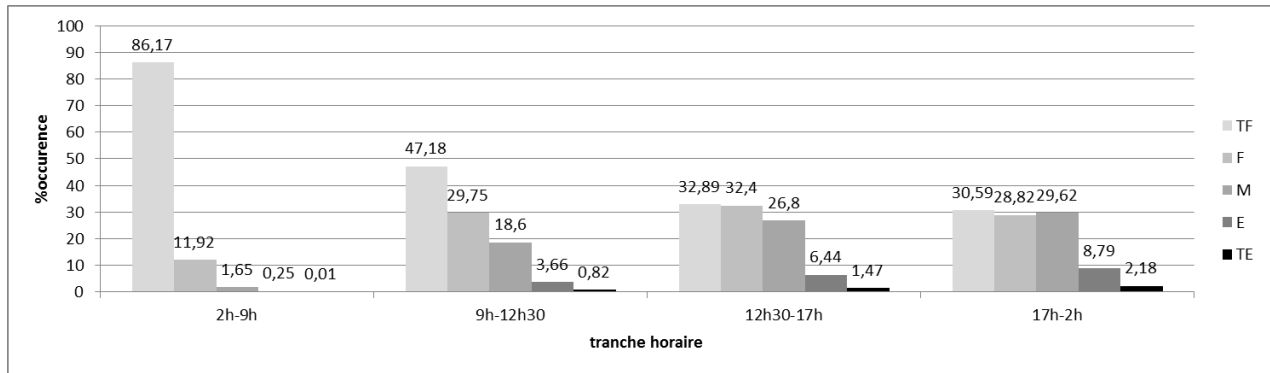
Sur cette figure nous pouvons distinguer 4 périodes différentes que nous décrivons comme suit :

[09h00-12h30] : il y a plus d'entrées que de sorties et les soins ne progressent pas rapidement vu que le personnel prend en charge les patients hospitalisés de la veille. Le RAT donc augmente à 12h dû aux longues attentes pour la PPC, ce qui influence le NT. La tension dans cette tranche est caractérisée essentiellement par l'encombrement du service et les longues attentes.

[12h30-17h00] : les DP s'allongent, la Figure V-13 montre le RDT qui augmente. Ainsi, un autre type de tension commence à peser sur les praticiens : la dégradation de la qualité de prise en charge et l'insatisfaction des parents suite aux longues attentes.

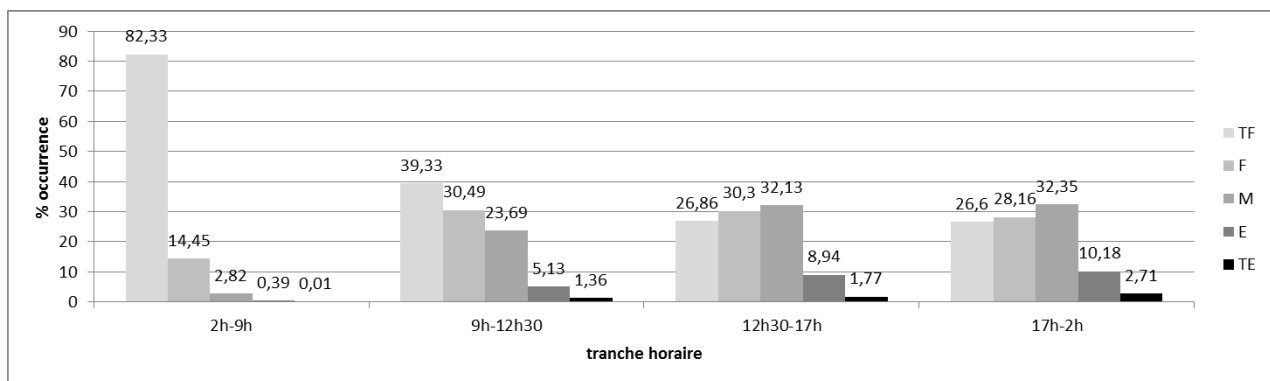
[17h00-02h00] : c'est la phase où nous notons le plus d'alertes de type « E » et « TE » comme le montre la Figure V-16. Le NT atteint ses plus hautes valeurs suite aux conséquences d'allongement des durées, des attentes pour la PPC, la surcharge de l'unité d'hospitalisation qui ne laisse plus d'alternatives de placement. Par contre, à partir de 21h nous percevons une phase de décharge, c'est la fin des traitements et nous notons plus de départs que d'arrivées.

[02h00-09h00] : une période creuse où le service est très calme. Malgré l'existence de quelques situations isolées durant l'année, les alertes « M », « E » et « TE » étaient négligeables devant 98% d'alertes « TF » et « F » comme le montre la Figure V-16.



**Figure V-16 : Occurrence en pourcentage des alertes pour les 5 états du NT (toute la durée de l'étude)**

En classifiant davantage, la Figure V-17 montre que les fortes alertes sont plus fréquentes pendant la période épidémique. Les niveaux « TF » et « F » perdent de leur occurrence au profit des autres niveaux plus élevés.



**Figure V-17: Occurrence en pourcentage des alertes pour les 5 états du NT (période épidémique)**

Par contre, pendant la période des vacances d'été le SUP ne note quasiment pas d'alertes « TE » et moins de 1% d'alertes « E » (Non affiché).

Afin de valider ces résultats d'évaluation, nous avons travaillé a posteriori avec les données du SUP. Nous nous sommes mis dans des scénarios de simulations réels. Nous présentons un scénario de simulation complet pour une journée de haute tension dans le paragraphe (V.5).

#### V.4 Résultats de l'anticipation

Nous présentons dans cette partie les résultats de l'anticipation pour les différents horizons étudiés. Nous retenons une méthode de prévision pour chaque horizon ou période d'année si elle offre le minimum de l'erreur relative MAPE (Tableau I-1) entre la réalisation et la prévision.

Pour l'horizon mensuel, les prévisions sont effectuées à partir de janvier 2013 en se basent sur les deux cycles de données des années 2011 et 2012 comme historique. Nous avons appliqué les méthodes HW et SARIMA avec différents ordres. Quand il s'agissait de la méthode SARIMA, nous étions plus limités pour le choix des ordres car le minimum requis des observations n'était pas assuré. En effet, l'échantillon que nous avons sur la base mensuelle est très limité, deux cycles, soit 24 observations seulement ne permettent pas d'appliquer SARIMA à tous les ordres (Hyndman and Kostenko, 2007). Cependant, nous avons eu de bons résultats avec les ordres autorisés. Nous avons quand même appliqué la méthode ARIMA au niveau des simulations pour mettre en évidence ses limites.

La Figure V-18 propose les meilleurs résultats obtenus à l'exception de la méthode ARIMA(2,1,1) ayant une erreur relative moyenne de 7.1% avec des écarts très importants comme le cas du mois d'août 2013 où l'erreur atteint 31.6%. Nous retenons donc SARIMA(1,1,2)(1,0,0)<sub>12</sub> comme modèle de prévision pour l'horizon mensuel car comme nous pouvons le constater elle offre le meilleur résultat avec une erreur relative absolue de 3,2%.

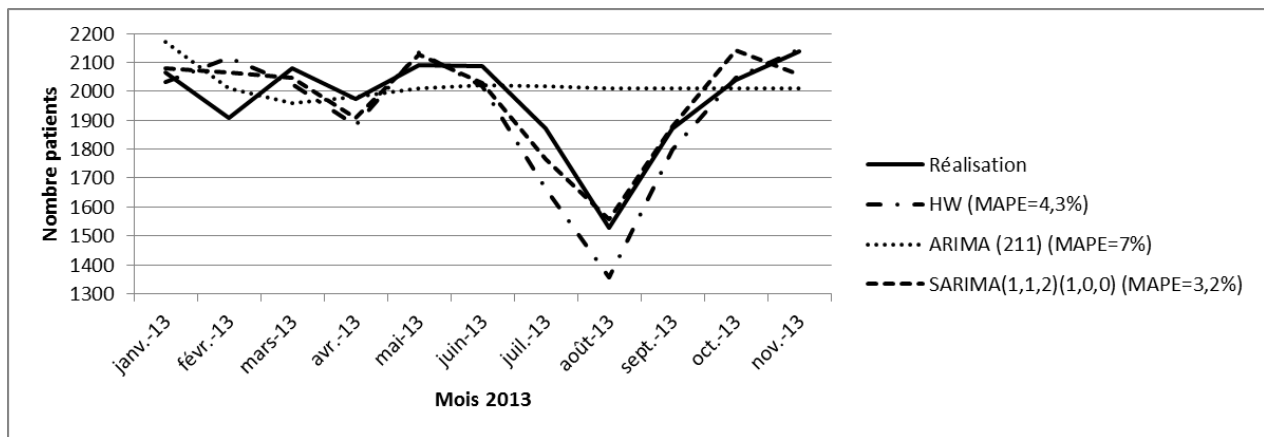


Figure V-18 : Résultats de prévision pour l'horizon mensuel

Pour l'horizon journalier, la méthode SARIMA a donné une erreur de 12% que nous avons améliorés avec la recombinaison d'historique avant chaque vacance scolaire pour atteindre 10% pour ces périodes spécifiques. La méthode SARIMA retenue est SARIMA(1,1,2)(0,1,1)<sub>7</sub> pour une prévision de 7 jours équivalents à une prévision hebdomadaire également.

D'autre part, l'application de la méthode SARIMAX a amélioré l'erreur pour la période épidémique vu qu'il y a des jours donnés où nous avons à la fois des baisses de température et/ou des vacances scolaires. Pour cette période nous avons atteint une erreur de 10% donc nous l'adopterons pour cette période ayant des caractéristiques particulières par rapport au reste de l'année.

Pour l'horizon horaire, nous avons retenu la méthode SARIMA(1,1,2)(1,1,1)<sub>24</sub> pour atteindre une erreur globale de 14% pour 4 observations futures aux instants (00h00, 04h00, 08h00, 12h00, 16h00 et 20h00). La construction de l'historique a faiblement amélioré l'erreur pour atteindre 13% pendant les périodes épidémiques et les vacances scolaires.

Ainsi, ces simulations faites sur la base de l'historique 2011-2012 et validé en 2013 nous ont permis de définir une base de connaissance pour les méthodes d'anticipation à appliquer afin d'automatiser la prévision selon l'horizon et la période de l'année.

## **V.5 Système d'Aide à la Gestion de Tension (SAGeT)**

Nous présentons dans cette partie les caractéristiques du Système d'Aide à la Gestion de Tension (SAGeT) qui mettra en œuvre la réalisation des objectifs du projet HOST. Nous présentons ses modélisations statiques et dynamiques ainsi que les services proposés aux gestionnaires pour assurer l'aide à la décision et offrir une meilleure gestion et maîtrise de l'activité.

### **V.5.1 Plateforme et outils logiciels**

Pour le développement et la simulation des résultats, nous avons choisi le langage JAVA<sup>14</sup> version 1.7 sous Eclipse<sup>15</sup> pour plusieurs raisons : l'existence d'un bon support pour ce langage, d'une communauté active et des bibliothèques riches dont l'API SWING qui offre un support graphique convivial et ergonomique puisque l'apparence des éléments graphiques s'adapte avec le système d'exploitation hôte. De plus, JAVA supporte la portabilité, c'est un langage qui est en évolution permanente et qui permet l'intégration des services Web. La partie de l'évaluation floue basée sur la LF est entièrement programmée en JAVA. Le module d'anticipation est également programmé en JAVA pour la reconstitution de l'historique et le choix des méthodes à

---

<sup>14</sup> <http://www.java.com/fr/>

<sup>15</sup> <https://eclipse.org/>

appliquer et fait appel à l’outil statistique R<sup>16</sup> version 3.0.0 pour l’application directe des méthodes de prévision Box-Jenkins. L’API JAVA/R Interface (JRI)<sup>17</sup> assure le pont entre les deux outils. Enfin, le module graphique est entièrement programmé en JAVA.

### V.5.2 Architecture système : Diagrammes de Classes

SAGeT est constitué essentiellement de deux modules ou packages : l’un est dit principal ou se déroule toutes les opérations de fond (coordination, appels des classes, accès à la BD, calculs, configurations) et un autre dit graphique qui sert d’outil d’interaction avec l’utilisateur comme le montre le diagramme de classes sur la Figure V-19.

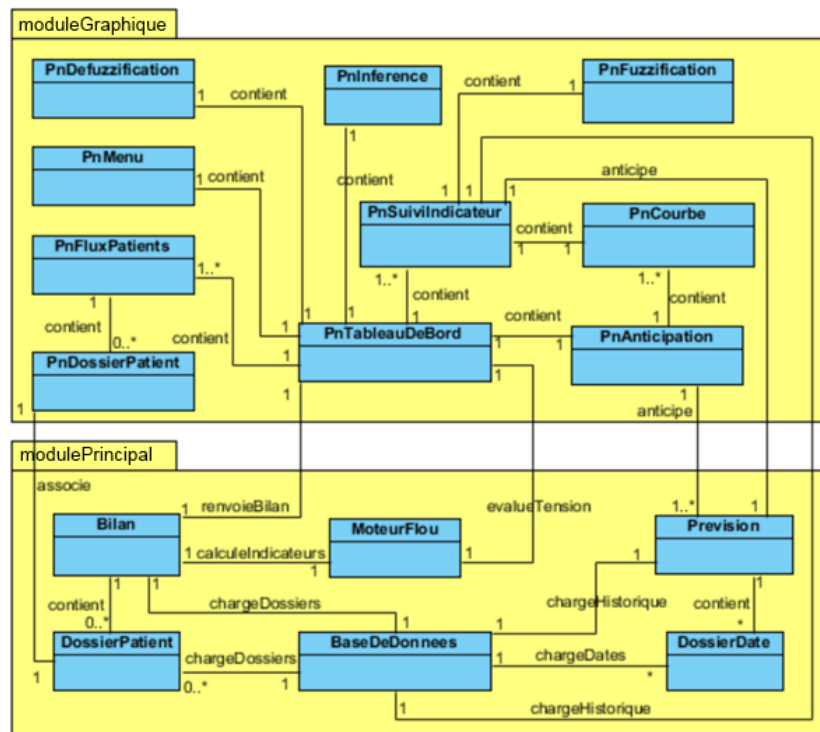


Figure V-19 : Vue Statique – Diagramme de Classes - SAGeT

#### V.5.2.1 Module principal

Le module principal gère essentiellement la BD du système via la classe « *BaseDeDonnees* » et assure la coordination entre les différentes tâches système et requêtes utilisateurs pour extraire plusieurs données. La classe « *Bilan* » calcule pour chaque configuration du SUP à un instant t

<sup>16</sup> <http://www.r-project.org/>

<sup>17</sup> <http://rforge.net/JRI/>

les indicateurs clés et les envoie à la classe « *MoteurFlou* » qui se charge de l'agrégation et l'évaluation du niveau global de la tension dans le SUP. La classe « *Prévision* » assure le volet de l'anticipation en chargeant l'historique et appliquant la méthode de prévision adéquate selon le principe de fonctionnement du SHA décrit dans la Figure IV-1.

### **V.5.2.2 Module graphique**

Le concept du développement des interfaces graphiques est proche du concept des poupées russes puisque les composants (Panneaux, Boutons, Menus..) sont imbriqués les uns dans les autres. Le premier conteneur est un panneau dit « *PnTableauDeBord* » où le reste des autres panneaux et composants sont imbriqués. A travers ces composants, l'utilisateur est guidé pour collecter ses différents choix et élaborer sa requête. Sur le diagramme de classe, les classes appartenant au module graphique hérite de la classe JPanel sous JAVA qui correspond à un panneau d'affichage. Les noms de ces classes panneaux sont spécifiques aux services offerts par chacun.

### **V.5.3 Principe de fonctionnement via les Diagrammes de Séquences**

SAGeT est conçu pour gérer le SUP en temps réel, donc son fonctionnement est régi pas une succession de mises à jour à chaque instant  $t$  fixé par un horizon paramétrable. La Figure V-20 affiche le diagramme de séquence qui regroupe les fonctionnalités clés. En effet, pour chaque instant  $t$  fixé (action 1.1)(action 1.2)(action 1.3), le système fait appel à la classe « *Bilan* » qui prend en charge la configuration du SUP à cet instant puis évalue la demande (action 1.4) en classant les patients en UHCD ou USE, ensuite estime les DP pour les patients de l'USE et fait les mises à jours des paramètres ( $CR_{i,t}$ ,  $CD_{i,t}$ ,  $TA_{i,t}$ ) de chaque patient  $i$  à l'instant  $t$ . Enfin, calcule les indicateurs clés ( $RDO_{i,t}$ ,  $RAT_{i,t}$ ,  $RDT_{i,t}$ ) (action 1.5) et les envoie comme entrées du « *MoteurFlou* ».

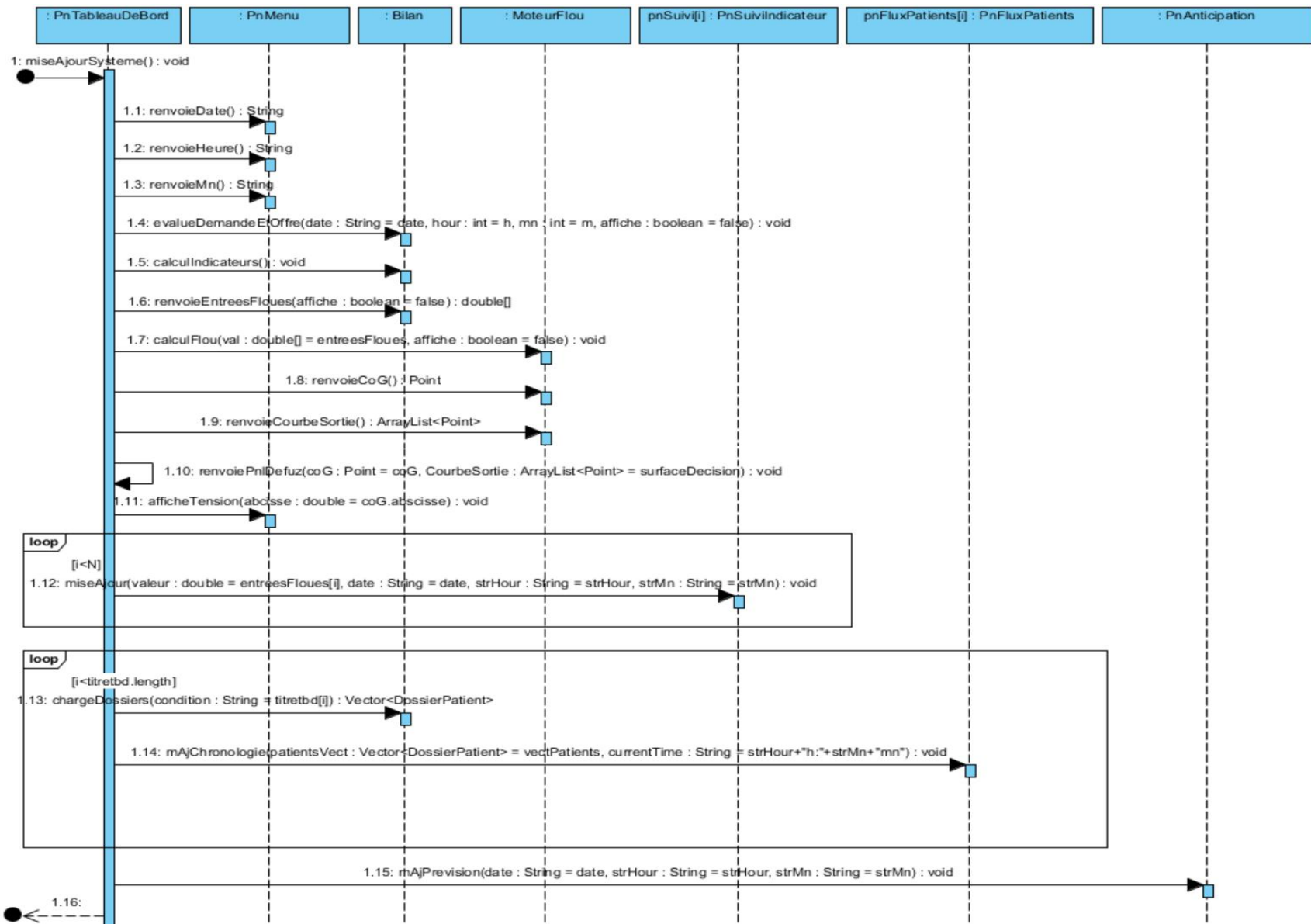


Figure V-20 : Diagramme de séquences mettant en œuvre le fonctionnement global de SAGeT

L'action 1.7 qui est l'évaluation du niveau de tension par la classe « *MoteurFlou* » est décrite dans le diagramme de séquence de la Figure V-21.

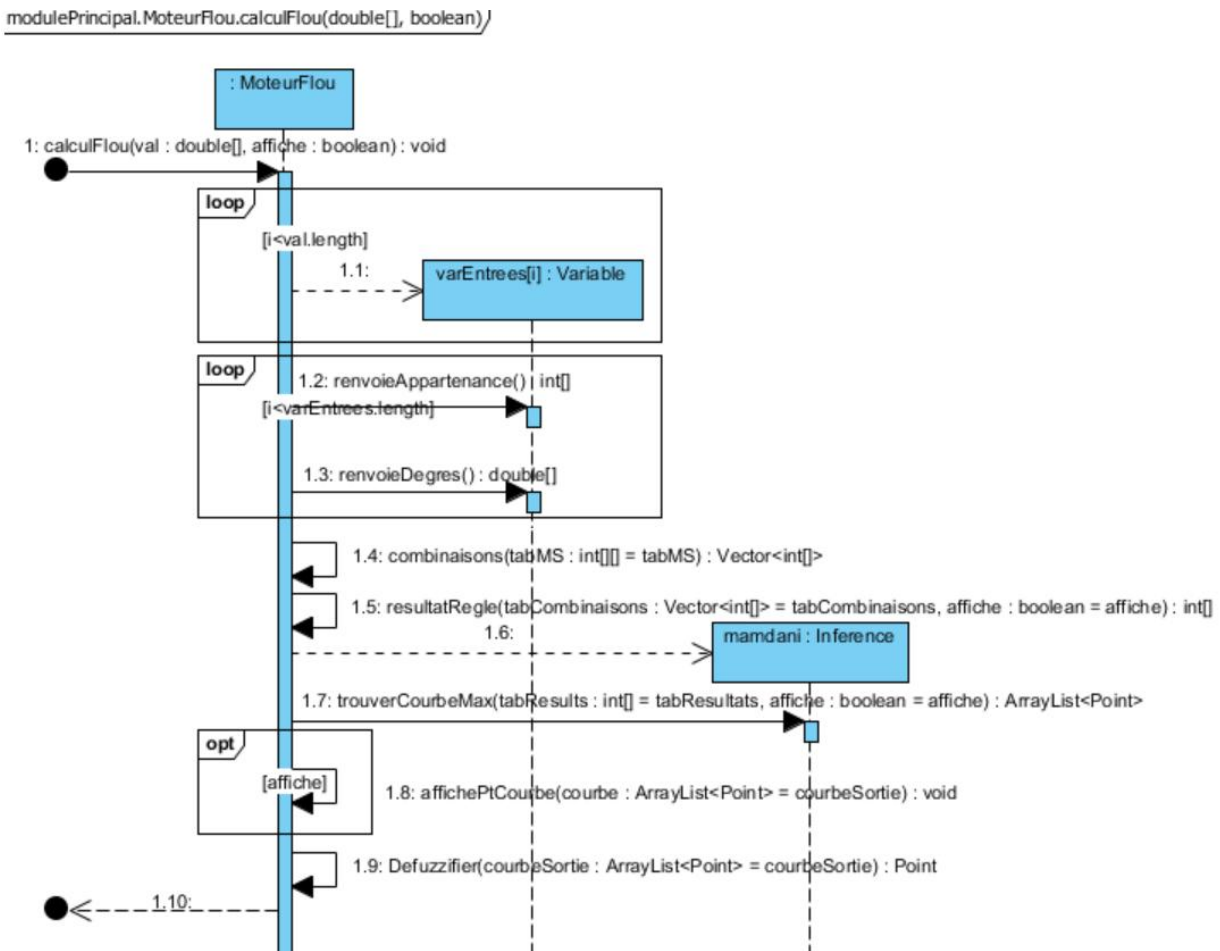
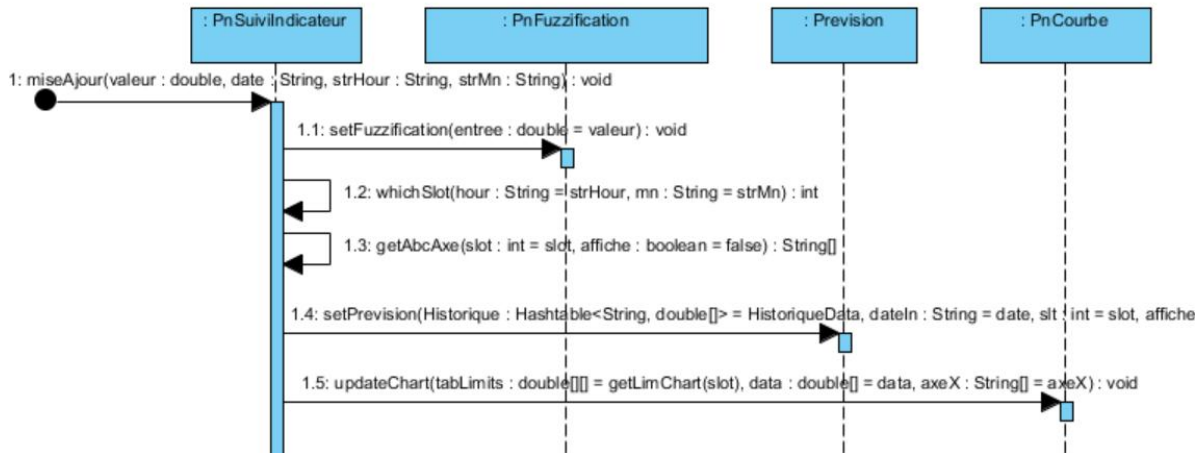


Figure V-21 : Diagramme de séquences mettant en œuvre le déroulement de l'évaluation Floue

Les trois actions d'affichage qui suivent sont sur demande de l'utilisateur et permettent le suivi de la progression des indicateurs (action 1.12), la visualisation des flux patients (action 1.13) et enfin l'affichage des résultats de l'anticipation (action 1.14). Les étapes de l'anticipation sont présentées dans le diagramme de séquence de la Figure V-22 : l'action principale est de faire appel à la Classe « *Prevision* » (action 1.4) qui lancera les mises à jour des graphiques présentés par le classe « *PnCourbe* » (action 1.5).





**Figure V-22 : Diagramme de séquences mettant en œuvre le déroulement de l'anticipation**

Enfin, les instances de la classe Panneau « *PnFluxPatients* » permettent de visualiser la progression des durées de traitement et priorités en visualisant les barres de progressions des traitements positionnées par rapport à l'axe temporel vertical qui représente l'instant *t* de la mise à jour. Un affichage possible en quatre catégories de patients est proposé pour donner le choix de cibler une ou plusieurs catégories de patients et d'y avoir accès via les onglets suivants :

- Patients USE : Tous les patients présents dans l'USE sans distinction.
- Attente PPC: Les patients qui attendent leurs PPC, étiquetés par un label d'attente bleu.
- Dépassement : Les patients qui dépassent leurs DPP.
- Patients UHCD : Tous les patients présents dans l'UHCD sans distinction.

Cet accès ciblé peut être recommandé par les protocoles d'évitement de tension qui vont suggérer le suivi d'indicateurs responsables de la tension. Ces indicateurs sont conditionnés en réalité par l'avancement des traitements d'un ou plusieurs patients. Dans la suite, un scénario de simulation mettra en œuvre l'emploi de ces fonctionnalités.

#### **V.5.4 Scénarios de simulation**

Nous avons récupéré des vrais créneaux de tension en novembre 2013 que SAGeT doit être en mesure d'évaluer comme des situations de crise pour l'établissement. SAGeT doit également anticiper le nombre de patients pour les horizons larges et le NT pour un horizon court (horaire).

Nous avons choisi un scénario réel présenté par le **28 novembre 2013** qui était une journée de très haute tension. La Figure V-23, présente la progression du NT au cours de cette journée. La tension était à 25% « TE » sur la journée et elle durait dans le temps.

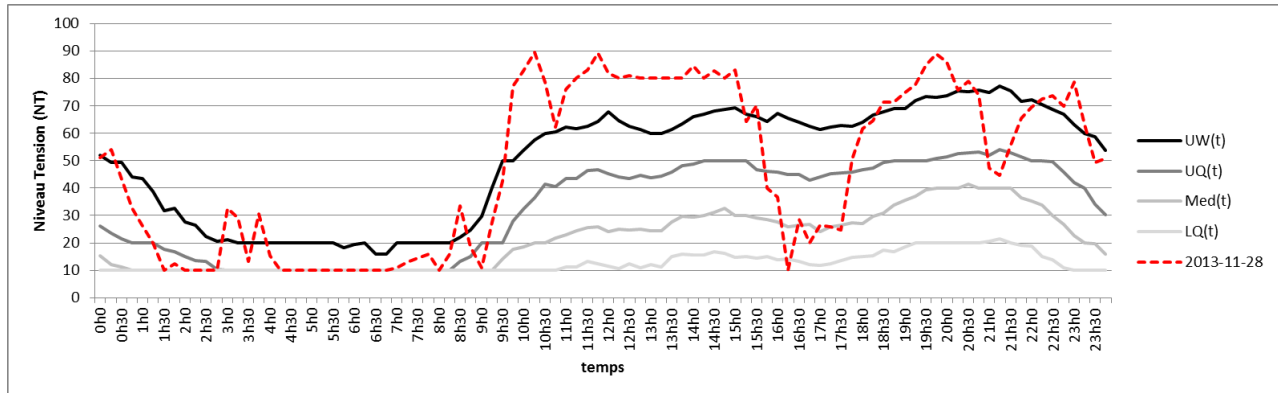


Figure V-23 : Progression du NT au cours de la journée : 28.11.2013

Nous avons considéré le service à plusieurs heures correspondant à différents niveaux de tension et scénarios. A chaque heure, nous devons comparer le NT que nous modélisons grâce aux indicateurs de tension aux avis des experts.

Dès le début de cette journée, à partir de **9h45** SAGeT annonçait la première alerte Rouge où le SUP vivait un état «TE » comme le montre l'Annexe 5, une situation inhabituelle puisque le service reçoit 5 entrées presque simultanées (à moins de 15min d'intervalles) alors qu'il est saturé avec 5 patients en USE et 9 en UHCD. La difficulté était d'absorber cette charge tout en recevant d'autres patients pour le reste de la journée. D'ailleurs la tension s'est prolongée dans le temps et ce diagnostic a été lancé dès **10h** par SAGeT suite à une règle d'Inférence spécifique déclenchée comme le montre l'Annexe 6.

Dans l'incapacité de gérer cette charge à temps d'une part et le volume de patients qui continue d'augmenter avec des nouvelles arrivées simultanées d'autre part, SAGeT annonçait un état « TE » de crise qui a durait de **11h30** jusqu'à **15h**. À **14h15**, le SUP note 27 patients dans l'USE dont 9 sont en dépassement et 2 en attente pour leurs PPC et une UHCD saturée avec 9 patients (Annexe 7). Les données ont montré que le SUP a noté un record du nombre de patients jamais atteint sur les 3 années de l'étude à cette heure-ci. Et ce constat était en adéquation avec la description du personnel.

Annexe 8 montre qu'à **16h15**, le NT est « TF » malgré 18 patients dont 9 sont en dépassement dans l'USE. En effet, 11 sont en fin traitements et ils vont quitter le service. Par contre, les dépassements sont une conséquence directe de la tension notée auparavant. Ce scénario vient de contredire également les études de la littérature qui se basent uniquement sur le nombre de patients présents dans le service pour modéliser la demande. Car cette hypothèse ne peut être vraie si et seulement si la Charge Restante des soins totale est importante.

Enfin, dans la soirée, le SUP commence à se décharger par groupes de patients (5 sorties simultanées à **22h45** comme le montre l'Annexe 9. Enfin, à **23h30**, le NT rechute suite aux fins de traitements et aux sorties successives des patients.

Pour l'anticipation de la tension, nous avons choisi de présenter un autre jour, au début de l'année 2013. C'est le 19 janvier 2013, qui se déroulait dans une période de très basses températures et en plein période épidémique. La méthode SARIMA a été utilisée pour la prévision mensuelle et hebdomadaire, SARIMAX a été donc utilisée pour la prévision journalière et enfin SARIMA pour la prévision horaire.

Nous présentons les prévisions pour les horizons larges dans le panneau « Anticipation » comme le montre l'Annexe 10. En effet, nous avons gardé la réalisation à côté de la prévision pour afficher l'erreur relative absolue de prévision pour cette simulation. Et nous présentons les horizons courts relatifs à la prévision du NT dans le panneau « SUIVI INDICATEURS » comme le montre l'Annexe 11 où SAGeT prévoit à 11h une alerte Rouge « E » avant deux heures.

SAGeT permet d'avoir une vue macro, une visibilité globale de la situation dans le service à un instant t. Il effectue à la fois une évaluation qualitative et quantitative de la tension et offre un tableau de bord permettant de visualiser l'origine de la tension.

D'autre part, SAGeT offre un outil de suivi de progression des traitements des patients en les catégorisant selon des critères temporels. De plus chaque catégorie offre un tri selon un ordre de priorité. Ce système va aider les médecins à savoir qui prendre en charge en premier vu que cette fonctionnalité n'existe pas dans l'actuel SIH et qu'il s'agit d'un besoin urgent exprimé par les médecins. D'autre part, le système permet de faire des prévisions sur le nombre de patients pour des horizons larges et d'autre part le niveau de tension avant deux heures avec une erreur de 10% pour l'horizon court.

## V.6 Conclusion

SAGeT est une plateforme qui a pour objectifs :

- Le suivi des flux patients en temps réel au cours de la journée dans le SUP.
- L'évaluation d'un niveau de tension global en agrégeant des indicateurs de tension et l'affichage de ce niveau par des voyants d'alerte en proposant un diagnostic d'une situation donnée et les indicateurs à devoir suivre pour réguler le niveau de tension.
- Le suivi en temps réel de la progression des indicateurs et du niveau de tension global.
- L'anticipation du nombre de patients sur les horizons mensuel, hebdomadaire, journalier.
- L'anticipation de la tension sur l'horizon horaire.

Cette première version demeure sujette aux améliorations. D'ailleurs, plusieurs perspectives sont envisageables pour ce projet. Des perspectives sur le fond via des améliorations des approches d'évaluation et d'anticipation utilisées, des perspectives sur les services offerts ou encore des perspectives techniques via l'optimisation du contenu logiciel et du module d'interfaçage.

SAGeT pourrait proposer une partie de ses fonctionnalités aux parents et aux patients en général avec différents droits d'accès pour éviter toute fuite de données ou problèmes de confidentialité. Par exemple, l'affichage du niveau global de la tension et la courbe de son anticipation pourrait les sensibiliser à la notion de la tension afin qu'ils soient plus responsables vis-à-vis de ce phénomène en laissant la place à d'autres patients plus prioritaires et pour les inciter à venir dans des périodes creuses (cas non urgents). Une autre fonctionnalité qui pourrait satisfaire les parents est le fait de pouvoir suivre le parcours de leurs enfants et d'avoir une estimation de la DP car il s'agit d'une requête récurrente dans le SUP.

## *Conclusion Générale*

Nous avons proposé dans cette étude un Système d'Information Hospitalier (SIH) offrant des services d'aide à la décision pour les praticiens et les gestionnaires dans un SU dans le but de lutter contre les pics d'activité et la tension au cours de la journée. Ainsi, ils pourront améliorer la performance d'une part et la satisfaction des patients d'autre part. Néanmoins, ce système ne propose pas des décisions définitives. Il présente un appui supplémentaire pour offrir une meilleure visibilité sur l'activité et détecter les éventuelles anomalies.

L'élaboration de ce système s'appuie sur des approches théoriques et pratiques. En effet, la nature du phénomène à évaluer, à savoir la tension, est caractérisée par la subjectivité des jugements d'experts. Ainsi la Logique Floue (LF) était adoptée afin de répondre à cette contrainte. De plus, grâce à des termes linguistiques flous évaluant les états des différents indicateurs décelés, comme «Faible», «Moyen» et «Fort», la LF nous a offert un cadre flexible et un langage qui facilite la coopération avec les différents métiers impliqués dans le projet HOST. D'autre part, nous avons appliqué l'étude des séries chronologiques (SC) afin de faire des prévisions sur différents horizons permettant d'avoir une visibilité sur la demande dans le futur.

L'atout de ce système réside dans cette collaboration entre chercheurs et praticiens, ce qui lui permet de proposer des approches théoriques robustes et à la fois d'être opérationnel et reflétant une vraie problématique touchant le secteur de la santé puisqu'il répond à un besoin réel exprimé par le personnel soignant du SU.

Des possibilités de généralisation et de transposition à d'autres systèmes de soin sont envisageables. En effet, si nous voulons généraliser cette approche, le calcul des limites est adaptable à n'importe quelle base de données connectée en respectant le protocole de l'étude. Les médecins de tout établissement peuvent trouver un consensus pour définir des règles d'inférence car il hérite notre langage humain naturel. De plus le protocole de prévision peut s'adapter selon le service et la région.

Afin d'offrir une meilleure maîtrise de cet environnement complexe, il est possible d'améliorer les approches d'évaluation et d'anticipation adoptées, soit par l'ajout d'autres indicateurs pertinents ou encore en appliquant la SED pour la prévision horaire.

Dans nos travaux futurs, nous allons travailler sur la validation en temps réel de cet outil et travailler sur sa généralisation à d'autres structures. De plus, nous allons instaurer des protocoles d'évitement de tension sur le niveau interne de la structure tel que l'ordonnancement des tâches à compétences multiples afin d'offrir un planning optimisé au cours de la journée. D'autres perspectives au niveau régional sont abordées suite à l'échange avec les praticiens comme la création d'un réseau interconnecté de données et d'alertes qui présentera un moyen supplémentaire de coopération et de régulation des flux dans la région.

De plus, nous imaginons en perspective une application héritant des fonctionnalités offertes par SAGeT pour terminaux mobiles (tablette, smartphone..) destinée à différents profils d'utilisateurs : praticiens ou patients en définissant des droits d'accès adéquats pour assurer une meilleure protection des données personnelles. Mis à part l'aide à la décision qu'elle peut offrir aux praticiens, cette application pourrait rassurer les patients en suivant la progression de leurs processus de traitement instantanément ainsi proposer un outil d'amélioration de la qualité de prise en charge.

## Annexes

### Annexe 1 : Les mesures de la tension dans les SU d'Amérique

Mesures	Paramètres	Formules et seuils d'alerte	Commentaires
READI (Reeder and Garrison, 2001)	-N: nbre total de patients dans le service -A: nbre d'arrivées estimées -D: nbre de départs estimés -B : nbre de Lits	$BR = \frac{N + A - D}{B}$ <p>Si <math>BR &gt; 1</math>, le service se retrouve dans un état de tension.</p>	Compare l'espace de traitement demandé par rapport à l'espace de traitement offert.
	-N: nbre total de patients - $n_t$ : nombre de patients par catégorie t -t : score de tri de gravité à l'entrée, varie de 1 à 4 (4 étant la plus grave)	$AR = \frac{\sum_t n_t \times t}{N}$ <p>AR varie de 1 à 4 (4 étant la plus grave).</p>	AR évalue un poids relatif de la gravité totale.
	- $A_h$ : nbre d'Arrivées par heure -PPH <sub>p</sub> : le nombre moyen des Patients vus par le Praticien p par Heure	$PR = \frac{A_h}{\sum_p PPH_p}$ <p>PR &gt; 1,5 indique un manque de personnel. Le seuil 1,5 est déterminé tenant compte de la capacité du personnel à s'adapter.</p>	PR évalue la capacité des praticiens à traiter les patients arrivés par heure.
	- Bed Ratio (BR) - Acuity Ratio (AR) - Provider Ratio (PR)	$DV = (BR + PR) \times AR$ <p>Si <math>DV &gt; 7</math>, l'état de tension est très élevé.</p>	DV tient compte de la gravité combinée à l'espace et aux ressources (mesure globale).

EDCS (Asplin et al., 2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nbre de médecins traitants</li> <li>- nbre total de lits dans le service</li> <li>- nbre total de lits dans l'hôpital</li> <li>- nbre de patients en soins intensifs</li> <li>- nbre total de patients au service</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Formule non claire</p> <p style="text-align: center;">un score compris entre 0 et 100, et s'il est supérieur à 65, il s'agit d'un état de tension</p>	
EDWIN (Bernstein et al., 2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>n_i</math> : nbre de patients par catégorie <math>i</math></li> <li>- <math>t_i</math> : Le score de tri Emergency Severity Index (ESI) (Wuerz, 2001) de la catégorie <math>i</math> (1-5, 5 plus grave)</li> <li>- <math>N_a</math> : nbre des praticiens en service</li> <li>- <math>B_T</math> : nbre total de lits dans le service</li> <li>- <math>B_a</math> : nbre total des admis dans le service</li> </ul>	$\text{EDWIN} = \frac{\sum_i n_i \times t_i}{N_a(B_T - B_a)}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>\text{EDWIN} \leq 1,5</math>, pas de tension</li> <li>• Si <math>1,5 &lt; \text{EDWIN} \leq 2</math>, tension moyenne</li> <li>• Si <math>\text{EDWIN} &gt; 2</math>, tension élevée</li> </ul>	<p>Nous pouvons interpréter l'EDWIN comme : gravité totale par nombre de personnel traitant et par lits disponibles.</p>
NEDOCS (Weiss et al., 2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>a</math> : nbre total de lits dans le service</li> <li>- <math>b</math> : nbre total de lits dans l'hôpital</li> <li>- <math>c</math> : nbre total de patients au service</li> <li>- <math>d</math> : nbre total de patients en salles de ventilation.</li> <li>- <math>e</math> : plus long passage en urgences (exemple: 3,5 = 3 heures 30 minutes).</li> <li>- <math>f</math> : nbre des admis.</li> <li>- <math>g</math> : temps d'attente du dernier patient attendant un lit (en heures) (Exemple : 1,33 = 1 heure et 20 minutes).</li> </ul>	$\text{NEDOCS} = -20 + 85,8 \left( \frac{c}{a} \right) + 600 \left( \frac{f}{b} \right) + 13,4 (d) + 0,93 (e) + 5,64 (g)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si <math>\text{NEDOCS} \leq 50</math>, normal</li> <li>• Si <math>50 &lt; \text{NEDOCS} \leq 100</math>, occupé</li> <li>• Si <math>100 &lt; \text{NEDOCS} \leq 140</math>, surchargé</li> <li>• Si <math>140 &lt; \text{NEDOCS} \leq 180</math>, sévère</li> <li>• Si <math>180 &lt; \text{NEDOCS}</math>, désastre</li> </ul>	<p>Score dit objectif d'évaluation du niveau de tension dans les urgences. C'est le fruit d'une étude nationale américaine. Les paramètres du modèle sont déterminés par régression.</p>



<p>EDWOS (Epstein and Tian, 2006)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>P_{wait}</math> : nbre de patients en salle d'attente</li> <li>- <math>n_i</math> : nbre de patients par catégorie <math>i</math></li> <li>- <math>t_i</math> : le score ESI inversé (1-5, 1 plus grave)</li> <li>- <math>N_n</math> : nbre d'infirmières en service</li> <li>- <math>B_T</math> : nbre total de lits dans le service</li> <li>- <math>B_a</math> : nbre total des admis dans le service</li> </ul>	$EDWOS = 3,23 \left( \frac{P_{wait}}{B_T} \right) + 0.097 \left( \frac{\sum n_i t_i}{N_n} \right) + 10,92 \left( \frac{B_A}{B_T} \right)$	<p>EDWOS quantifie la charge de travail du personnel et la tension dans les services d'urgences. Les paramètres du modèle sont déterminés par régression.</p>
<p>OR (McCarthy et al., 2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>N</math>: nbre total de patients dans le service</li> <li>- <math>B</math> : nbre total de lits dans le service</li> </ul>	$OR = \frac{N}{B}$ <p>Si <math>OR &gt; 1</math>, le service se retrouve dans un état de tension.</p>	<p>Taux d'Occupation (TO) en français. Plus il est grand, plus la tension croît dans le service d'urgence.</p>
<p>ICMED (Boyle et al., 2012) (Boyle et al., 2013)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicateurs d'entrée : <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 90<sup>ème</sup> centile du temps entre l'arrivée d'ambulance et le déchargement du patient est supérieur à 15 minutes.</li> <li>2. Le nombre de patients quittant sans être vu ou traité (fugues) est supérieur ou égal à 5%.</li> <li>3. Plus de 5 minutes entre l'arrivée du patient et le triage initial.</li> </ol> </li> <li>- Indicateurs de flux interne : <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Un TO supérieur à 100%.</li> <li>5. Le 90<sup>ème</sup> centile du temps de passage du patient est supérieur à 4 heures.</li> <li>6. Lorsqu'un patient en état très urgent attend plus de 30 minutes pour être vu par un médecin.</li> </ol> </li> <li>- Indicateurs de sortie : <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Lorsque moins de 90% des patients quittent le service d'urgence 2 heures après la décision d'admission.</li> <li>8. Plus de 10% d'occupation par les patients hospitalisés en attente d'être placés dans un lit en aval.</li> </ol> </li> </ul>	<p>Propose un bouquet de 8 règles et indicateurs à la fois sans les intégrer dans un score unique. Ce travail a adopté également le modèle conceptuel de (Asplin et al., 2003)</p>	

**Annexe 2: Travaux traitant l'anticipation de la tension dans les SUs**

	<b>Paramètres prédis et horizons</b>	<b>Méthodes</b>	<b>Résultats</b>
(Côté et al., 2013)	le nombre d'arrivées par heure, jour, mois, année	- Régression linéaire - Régression de Fourier (pour la prévision horaire)	En fonction de l'horizon de la prévision: Année: $R^2 = 80\%$ , Mois : $R^2 = 93,4\%$ , Journée: $R^2 = 47,4\%$ , Heure: $R^2 = 34,4\%$ $R^2$ décroît en affinant l'horizon du fait que plus l'horizon est plus grand plus le phénomène est prévisible.
(Kam et al., 2010)	le nombre d'arrivées journalier	- Moyenne Mobile (MA) - univariate SARIMA <sup>18</sup> - multivariate SARIMA	MAPE (MA)=12,9%, MAPE(UVSARIMA)=7,8%, MAPE(MVSARIMA)=7,4% Ainsi, multivariate SARIMA est le meilleur modèle retenu.
(Schweigler et al., 2009)	le taux d'occupation des lits (de 4 à 12 heures)	- Hourly Historical Average (HHA) - SARIMA - sinusoidal with an autoregression (AR)-structured error term (A-SR)	En comparant RMSE, SARIMA et A-SR montrent les mêmes performances dans les trois sites, et elles étaient beaucoup plus robustes que la méthode HHA.
(Abraham et al., 2009)	le nombre d'arrivées journalier le taux d'occupation résultant.	- MA - Régression saisonnière (SReg) - ARIMAX - SARIMA	$R^2$ (SReg)=15,6 % pour les admissions $R^2$ (SReg)=30 % taux d'occupation Ces résultats ainsi que ceux du RMSE pour les trois autres méthodes était trop faibles. Cependant, ARIMA-Reg et SARIMA sont adaptés pour prévoir l'occupation pendant une semaine à l'avance.

<sup>18</sup> seasonal autoregressive integrated moving average

(Sun et al., 2009)	le nombre d'arrivées par jour	- SARIMAX	MAPE (P1)=16,8%, MAPE (P2)=6,7%, MAPE (P1)=8,6% Avec P1, P2, P3 : des degrés de sévérité, P1 étant le plus aigu. MAPE total=4,8%
(Boyle et al., 2008)	le nombre d'arrivées par mois	-Régression linéaire -AR	La régression linéaire a présenté les meilleurs résultats avec un MAPE=1,79%.
(Hoot et al., 2008)	Le nombre de patients en attente, le temps d'attente, le TO, la durée du séjour, le nombre d'admis, le temps d'admission, la réorientation d'ambulances	Simulation à événements discrets	Les écarts de prévision étaient élevés pour l'horizon de 2 heures et diminuaient progressivement à partir de 8 heures. Cet outil a été appelé ForecastED et a été validé dans les études de (Hoot et al., 2009a) et (Hoot et al., 2009b) et présente les meilleurs performances jusqu'à présent.
(Jones et al., 2008)	le nombre d'arrivées journalier	- Régression - SARIMA - Réseau de neurones artificiels - Lissage exponentiel	Les prévisions n'ont pas fourni de prévisions toujours exactes des volumes quotidiens. SARIMA était meilleure que les autres méthodes.
(Morzuch and Allen, 2006)	le nombre d'arrivées par heure	-Holt Winters (HW) -Le lissage exponentiel double saisonnier	Selon l'horizon, l'erreur quadratique moyenne variait entre 2,41 et 2.48. Le lissage exponentiel double saisonnier était la meilleure approche.

**Annexe 3 : Listes d'indicateurs dans les Fonctions cliniques et médico techniques (ANAP, 2010b)**

<b>Structure</b>	<b>Indicateurs</b>
Bloc Opératoire	Taux d'ouverture Taux d'occupation des vacations Taux d'occupation des salles Taux de débordement Taux de programmation Mobilisation du personnel en salle
Chirurgie ambulatoire	Taux de rotation des places Taux de satisfaction des patients Qualité organisationnelle Taux de chirurgie ambulatoire foraine Activité de l'ambulatoire
Centre 15	Taux de qualité de décroché PARM Délai moyen de sortie du SMUR Durée moyenne de décision de régulation
Urgences	Temps de passage Ressources humaines pour 10 000 passages annuels Nombre de passages
Imagerie	Délai de rendez-vous des patients Délai de remise des comptes rendus TUE : Taux d'Utilisation des Équipements TUPR : Taux d'utilisation lors des périodes en programmé (hors activité libérale) Taux de conformité des demandes d'exams Nombre d'Indices de Coûts Relatifs (ICR) produits par heure de travail de Manipulateurs en Electro Radiologie (MER) pour une modalité donnée
Radiothérapie	Délai moyen entre chirurgie et 1ère séance de radiothérapie Délai moyen entre 1ère consultation de radiothérapie et séance de traitement Nombre de séances annuelles par appareil de radiothérapie
Gestion des Lits	Mouvements Taux d'occupation des services Taux de sorties avant midi Séjours de plus de 30 jours
Transport Interne	Ponctualité Satisfaction des patients et services utilisateurs
Consultations externes	Délai moyen d'obtention d'un rendez-vous Taux d'occupation des plages Taux d'appels perdus Temps de plage offert Taux de recouvrement direct

#### Annexe 4 : Matrice de Décision, Diagnostics selon règles et indicateurs à devoir surveiller


Numero Règle	RDO (Demande/Offre)	RAT (Attente PPC)	RDT (Dépassement)	NT (Niveau Tension)	Diagnostic	à Surveiller
1	F	F	F	N1	RAS	
2	F	F	M	N1	RAS	
3	F	F	E	N2	Le personnel est indisponible ou les processus d'examens complémentaires sont bloqués??	cas de dépassements, Imagerie et Biologie*
4	F	M	F	N2	RAS	
5	F	M	M	N2	RAS	
6	F	M	E	N3	Le personnel est indisponible ou les processus d'examens complémentaires sont bloqués??	cas de dépassements, Imagerie et Biologie*
7	F	E	F	N3	Personnel indisponible	les attentes pour la PPC
8	F	E	M	N3	Personnel indisponible	les attentes pour la PPC
9	F	E	E	N4	Personnel insuffisant	les attentes pour la PPC, Cas de dépassements, Imagerie et
10	M	F	F	N4	RAS	
11	M	F	M	N4	RAS	
12	M	F	E	N5	Le personnel est indisponible ou les processus d'examens complémentaires sont bloqués??	cas de dépassements, Imagerie et Biologie*
13	M	M	F	N5	RAS	
14	M	M	M	N5	RAS	
15	M	M	E	N6	Le personnel est indisponible ou les processus d'examens complémentaires sont bloqués??	cas de dépassements, Imagerie et Biologie*
16	M	E	F	N6	Personnel indisponible	Les attentes pour la PPC
17	M	E	M	N6	Personnel indisponible	Les attentes pour la PPC
18	M	E	E	N7	Personnel insuffisant	les attentes pour la PPC, Cas de dépassements, Imagerie et
19	E	F	F	N7	Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants	box et lits, nouvelles arrivées
20	E	F	M	N7	Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants	box et lits, nouvelles arrivées
21	E	F	E	N8	Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants	box et lits, cas de dépassements, Imagerie et Biologie*
22	E	M	F	N8	Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants. Tension qui va se prolonger dans le temps. Il faut évacuer quelques patients.	box et lits, les attentes pour la PPC (favoriser les soins de couloir), cas de dépassements, Imagerie et Biologie*
23	E	M	M	N8	Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants. Tension qui va se prolonger dans le temps. Il faut évacuer quelques patients.	box et lits, les attentes pour la PPC (favoriser les soins de couloir), cas de dépassements, Imagerie et Biologie*
24	E	M	E	N9	Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants et personnel indisponible	box et lits, cas de dépassements, Imagerie et Biologie*
25	E	E	F	N9	Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants et personnel indisponible	box et lits, les attentes pour la PPC (favoriser les soins de couloir)
26	E	E	M	N9	Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants et personnel indisponible	box et lits, les attentes pour la PPC (favoriser les soins de couloir)
27	E	E	E	N10	Etat de tension critique, box et personnel insuffisants, attentes pour la PPC E et Dépassement E.	box et lits, les attentes pour la PPC (favoriser les soins de couloir), cas de dépassements, Imagerie et Biologie*. Le service n'est plus en mesure de recevoir plus de patients

\* Vérifier si les patients en dépassements attendent leurs résultats d'examens complémentaires.

Annexe 5 : Panneau de gestion des flux Patients à 9h45 le 28 Novembre 2013 (vue Patients USE)

HOST - Hôpital Jeanne de Flandre - CHRU Lille

Menu



Connexion Système

Identifiant  
wided

Mot de passe  
\*\*\*\*\*

Connexion

Chargement BD

construction

validation

complete

jourTest

Chargement données

Date et heure

date  
2013-11-28


09 h: 45 mn

+15mn

Valider

Niveau Tension

77/100



Traitement & Paramétrage

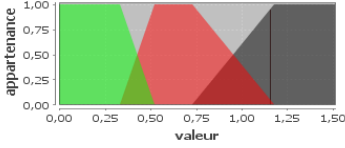
Priorités Patients

Inférence

Anticipation

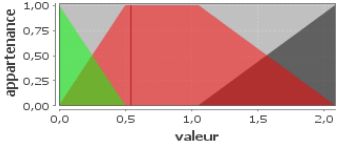
Solutions Tension

**Demande/Offre:1,15**



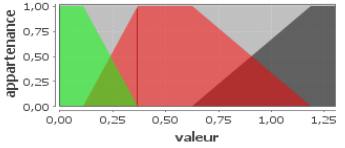
Initialiser Modifier OF, 0,06M, 0,94E,

**Attente:0,54**



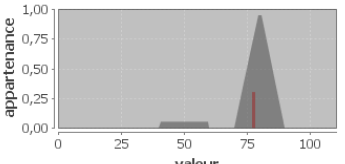
Initialiser Modifier OF, 1M, 0E,

**Depassement:0,36**

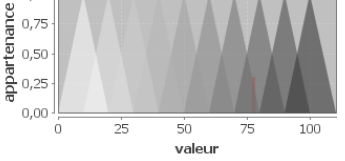


Initialiser Modifier 0,03F, 0,97M, 0E,

**Surface de décision**



**Niveaux Tension**



GESTION DES FLUX PATIENTS | SUIVI INDICATEURS | ANTICIPATION

Patients USE: 10 | Attente PPC: 4 | Dépassement: 1 | Patients UHCD: 9

09h:45mn

69449-Durée Estimée: 5h0mn	0	2h0mn	4h0mn	6h0mn	8h0mn	10h0mn
100 %	100 %	100 %	1 %	0 %		

69452-Durée Estimée: 2h17mn	0	0h52mn	1h44mn	2h36mn	3h28mn	4h20mn
100 %	87 %	0 %	0 %	0 %		

69453-Durée Estimée: 2h11mn	0	0h52mn	1h44mn	2h36mn	3h28mn	4h20mn
100 %	77 %	0 %	0 %	0 %		

69454-Durée Estimée: 5h0mn	0	2h0mn	4h0mn	6h0mn	8h0mn	10h0mn
72 %	0 %	0 %	0 %	0 %		

69456-Durée Estimée: 1h50mn	0	0h44mn	1h28mn	2h12mn	2h56mn	3h40mn
70 %	0 %	0 %	0 %	0 %		

69460-Durée Estimée: 1h50mn	0	0h44mn	1h28mn	2h12mn	2h56mn	3h40mn
25 %	0 %	0 %	0 %	0 %		

69459-Durée Estimée: 3h6mn	0	1h12mn	2h24mn	3h36mn	4h48mn	6h00mn
15 %	0 %	0 %	0 %	0 %		

69458-Durée Estimée: 3h57mn	0	1h32mn	3h4mn	4h36mn	6h8mn	7h40mn
15 %	0 %	0 %	0 %	0 %		

69457-Durée Estimée: 5h26mn	0	2h8mn	4h16mn	6h24mn	8h32mn	10h40mn
14 %	0 %	0 %	0 %	0 %		

69462-Durée Estimée: 2h30mn (Entrée 3mn)	0	1h0mn	2h0mn	3h0mn	4h0mn	5h0mn
5 %	0 %	0 %	0 %	0 %		

Annexe 6 : Panneau de gestion des flux Patients à 10h00 le 28 Novembre 2013 (vue Patients USE)

HOST - Hôpital Jeanne de Flandre - CHRU Lille

Menu

Connexion Système

Identifiant: wided

Mot de passe: \*\*\*\*\*

Connexion

Chargement BD

construction

validation

complete

jourTest

Chargement données

Date et heure

date: 2013-11-28

10 h: 00 mn

+15mn

Valider

Niveau Tension: 82/100

Diagnostic

Etat de tension qui dépasse la moyenne, box insuffisants. Tension qui va se prolonger dans le temps. Il faut évacuer quelques patients. Vérifiez box et lits, les attentes pour la PPC (favoriser les soins de couloir), cas de dépassements, Imagerie et Biologie\*

OK

GESTION DES FLUX PATIENTS | SUIVI INDICATEURS | ANTICIPATION

Patients USE: 10 | Attente PPC: 4 | Dépassement: 1 | Patients UHCD: 10

10h:00mn

69449-Durée Estimée: 5h0mn	0	2h0mn	4h0mn	6h0mn	8h0mn	10h0mn
100 %	100 %	100 %	5 %	0 %	0 %	0 %

69452-Durée Estimée: 2h17mn	0	0h52mn	1h44mn	2h36mn	3h28mn	4h20mn
100 %	100 %	15 %	0 %	0 %	0 %	0 %

69453-Durée Estimée: 2h11mn	0	0h52mn	1h44mn	2h36mn	3h28mn	4h20mn
100 %	100 %	6 %	0 %	0 %	0 %	0 %

69456-Durée Estimée: 1h50mn	0	0h44mn	1h28mn	2h12mn	2h56mn	3h40mn
100 %	5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

69454-Durée Estimée: 5h0mn	0	2h0mn	4h0mn	6h0mn	8h0mn	10h0mn
84 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

69460-Durée Estimée: 1h50mn (Longue attente pour le premier examen, depu...)	0	0h44mn	1h28mn	2h12mn	2h56mn	3h40mn
59 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

69459-Durée Estimée: 3h6mn (Longue attente pour le premier examen, depu...)	0	1h12mn	2h24mn	3h36mn	4h48mn	6h00mn
5 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

69458-Durée Estimée: 3h57mn	0	1h32mn	3h4mn	4h36mn	6h8mn	7h40mn
2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

69461-Durée Estimée: 2h30mn	0	1h0mn	2h0mn	3h0mn	4h0mn	5h0mn
10 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

69457-Durée Estimée: 5h26mn (Longue attente pour le premier examen, depu...)	0	2h8mn	4h16mn	6h24mn	8h32mn	10h40mn
26 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Demande/Offre: 1,22

appartenance

valeur

Initialiser Modifier OF, 0M, 1E,

Attente: 1,29

appartenance

valeur

Initialiser Modifier OF, 0,77M, 0,23E,

Dépassement: 0,41

appartenance

valeur

Initialiser Modifier OF, 1M, 0E,

Surface de décision

appartenance

valeur

Niveaux Tension


appartenance

valeur

Annexe 7 : Panneau de gestion des flux Patients à 14h15 le 28 Novembre 2013 (vue Patients USE)

HOST - Hôpital Jeanne de Flandre - CHRU Lille

Menu



Connexion Système

Identifiant  
wided

Mot de passe  
\*\*\*\*\*

Connexion

Chargement BD

construction

validation

complete

jourTest

Chargement données

Date et heure

date  
2013-11-28


14 h: 15 mn

+15mn

Valider

Niveau Tension

**80/100**



Traitement & Paramétrage

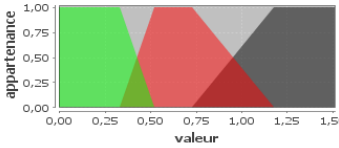
Priorités Patients

Inférence

Anticipation

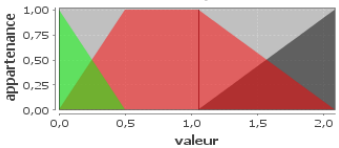
Solutions Tension

**Demande/Offre:1,68**




Initialiser Modifier OF, 0M, 1E,

**Attente:1,05**



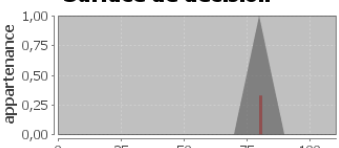
Initialiser Modifier OF, 1M, 0E,

**Dépassement:0,52**

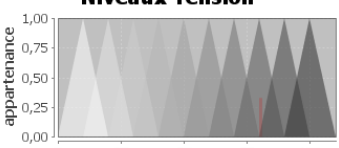


Initialiser Modifier OF, 1M, 0E,

**Surface de décision**



**Niveaux Tension**



GESTION DES FLUX PATIENTS

SUIVI INDICATEURS

ANTICIPATION

Patients USE: 27

Attente PPC: 2

Dépassement: 9

Patients UHCD: 9

14h:15mn

69469-Durée Estimée: 1h31mn	0h36mn	1h12mn	1h48mn	2h24mn	3h00mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	
69462-Durée Estimée: 2h30mn	1h0mn	2h0mn	3h0mn	4h0mn	5h0mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	55 %	
69477-Durée Estimée: 1h28mn	0h32mn	1h4mn	1h36mn	2h8mn	2h40mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	3 %	
69472-Durée Estimée: 2h2mn	0h48mn	1h36mn	2h24mn	3h12mn	4h00mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	96 %	0 %	
69473-Durée Estimée: 2h2mn	0h48mn	1h36mn	2h24mn	3h12mn	4h00mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	92 %	0 %	
69459-Durée Estimée: 3h6mn (Sortie 9mn)	1h12mn	2h24mn	3h36mn	4h48mn	6h00mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	90 %	0 %	
69458-Durée Estimée: 3h57mn	1h32mn	3h4mn	4h36mn	6h8mn	7h40mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	9 %	0 %	
69454-Durée Estimée: 5h0mn	2h0mn	4h0mn	6h0mn	8h0mn	10h0mn	
100 %	100 %	100 %	97 %	0 %	0 %	
69481-Durée Estimée: 1h36mn	0h36mn	1h12mn	1h48mn	2h24mn	3h00mn	
100 %	100 %	100 %	75 %	0 %	0 %	
69471-Durée Estimée: 3h25mn	1h20mn	2h40mn	4h0mn	5h20mn	6h40mn	
100 %	100 %	100 %	1 %	0 %	0 %	
69457-Durée Estimée: 5h26mn	2h8mn	4h6mn	6h24mn	8h32mn	10h40mn	
100 %	100 %	100 %	25 %	0 %	0 %	
69483-Durée Estimée: 1h31mn	0h36mn	1h12mn	1h48mn	2h24mn	3h00mn	
100 %	100 %	100 %	8 %	0 %	0 %	
69468-Durée Estimée: 4h30mn	1h48mn	3h36mn	5h24mn	7h12mn	9h00mn	
100 %	100 %	90 %	0 %	0 %	0 %	
69476-Durée Estimée: 3h30mn	1h24mn	2h48mn	4h12mn	5h36mn	7h00mn	
100 %	100 %	76 %	0 %	0 %	0 %	
69482-Durée Estimée: 2h14mn	0h52mn	1h44mn	2h36mn	3h28mn	4h20mn	
100 %	100 %	71 %	0 %	0 %	0 %	
69470-Durée Estimée: 5h0mn						



Annexe 8 : Panneau de gestion des flux Patients à 16h15 le 28 Novembre 2013 (vue Dépassement)

HOST - Hôpital Jeanne de Flandre - CHRU Lille

Menu

**Connexion Système**

Identifiant: wided  
Mot de passe: \*\*\*\*\*  
Connexion

**Chargement BD**

construction  
 validation  
 complete  
 jourTest

Chargement données

**Date et heure**

date: 2013-11-28  
16 h: 15 mn  
+15mn  
Valider

**Niveau Tension**

10/100

Traitement & Paramétrage

Priorités Patients  
Inférence  
Anticipation  
Solutions Tension

**Demande/Offre:0,32**

Initialiser Modifier 1F, 0M, 0E,

**Attente:0**

Initialiser Modifier 1F, 0M, 0E,

**Dépassement:0,49**

Initialiser Modifier 0F, 1M, 0E,

**Surface de décision**

**Niveaux Tension**

GESTION DES FLUX PATIENTS | SUIVI INDICATEURS | ANTICIPATION

Patients USE: 18 | Attente PPC: 0 | Dépassement: 11 | Patients UHCD: 5

16h:15mn

69481-Durée Estimée: 1h36mn	0h36mn	1h12mn	1h48mn	2h24mn	3h00mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	
69483-Durée Estimée: 1h31mn (Sortie 9mn)	0h36mn	1h12mn	1h48mn	2h24mn	3h00mn	OUT
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	
69488-Durée Estimée: 1h44mn	0h40mn	1h20mn	2h00mn	2h40mn	3h20mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	12 %	
69454-Durée Estimée: 5h0mn	2h0mn	4h0mn	6h0mn	8h0mn	10h0mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	97 %	0 %	
69471-Durée Estimée: 3h25mn	1h20mn	2h40mn	4h0mn	5h20mn	6h40mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	91 %	0 %	
69485-Durée Estimée: 2h2mn	0h48mn	1h36mn	2h24mn	3h12mn	4h00mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	75 %	0 %	
69495-Durée Estimée: 1h29mn	0h32mn	1h4mn	1h36mn	2h8mn	2h40mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	19 %	0 %	
69478-Durée Estimée: 3h30mn	1h24mn	2h48mn	4h12mn	5h36mn	7h00mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	6 %	0 %	
69468-Durée Estimée: 4h30mn	1h48mn	3h36mn	5h24mn	7h12mn	9h00mn	
100 %	100 %	100 %	100 %	1 %	0 %	
69479-Durée Estimée: 3h30mn	1h24mn	2h48mn	4h12mn	5h36mn	7h00mn	
100 %	100 %	100 %	89 %	0 %	0 %	
69491-Durée Estimée: 2h2mn	0h48mn	1h36mn	2h24mn	3h12mn	4h00mn	
100 %	100 %	100 %	73 %	0 %	0 %	

Annexe 9 : Panneau de gestion des flux Patients à 22h45 le 28 Novembre 2013 (vue Patients USE)

HOST - Hôpital Jeanne de Flandre - CHRU Lille

Menu

**Ht**

Connexion Système

Identifiant  
wided

Mot de passe  
.....

Connexion

Chargement BD

construction

validation

complete

jourTest

Chargement données

Date et heure

date  
2013-11-28

22 h: 45 mn

+15mn

Valider

Niveau Tension

**69/100**

Traitement & Paramétrage

Priorités Patients

Inférence

Anticipation

Solutions Tension

**Demande/Offre:0,83**

appartenance

valeur

Initialiser Modifier OF, 0,78M, 0,22E

**Attente:1,7**

appartenance

valeur

Initialiser Modifier OF, 0,37M, 0,63E

**Depassement:0,8**

appartenance

valeur

Initialiser Modifier OF, 0,69M, 0,31E

**Surface de décision**

appartenance

valeur

**Niveaux Tension**

appartenance

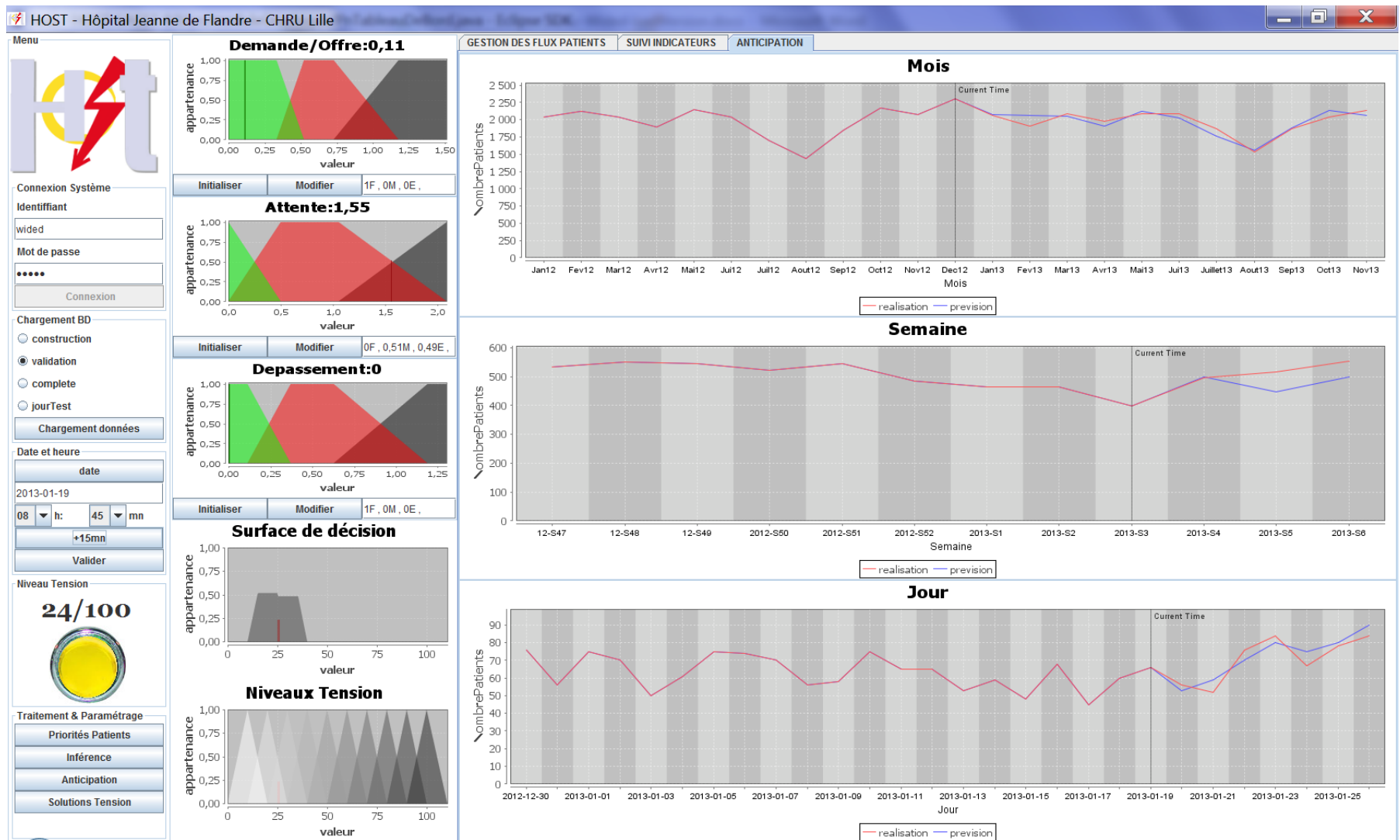
valeur

GESTION DES FLUX PATIENTS SUIVI INDICATEURS ANTICIPATION

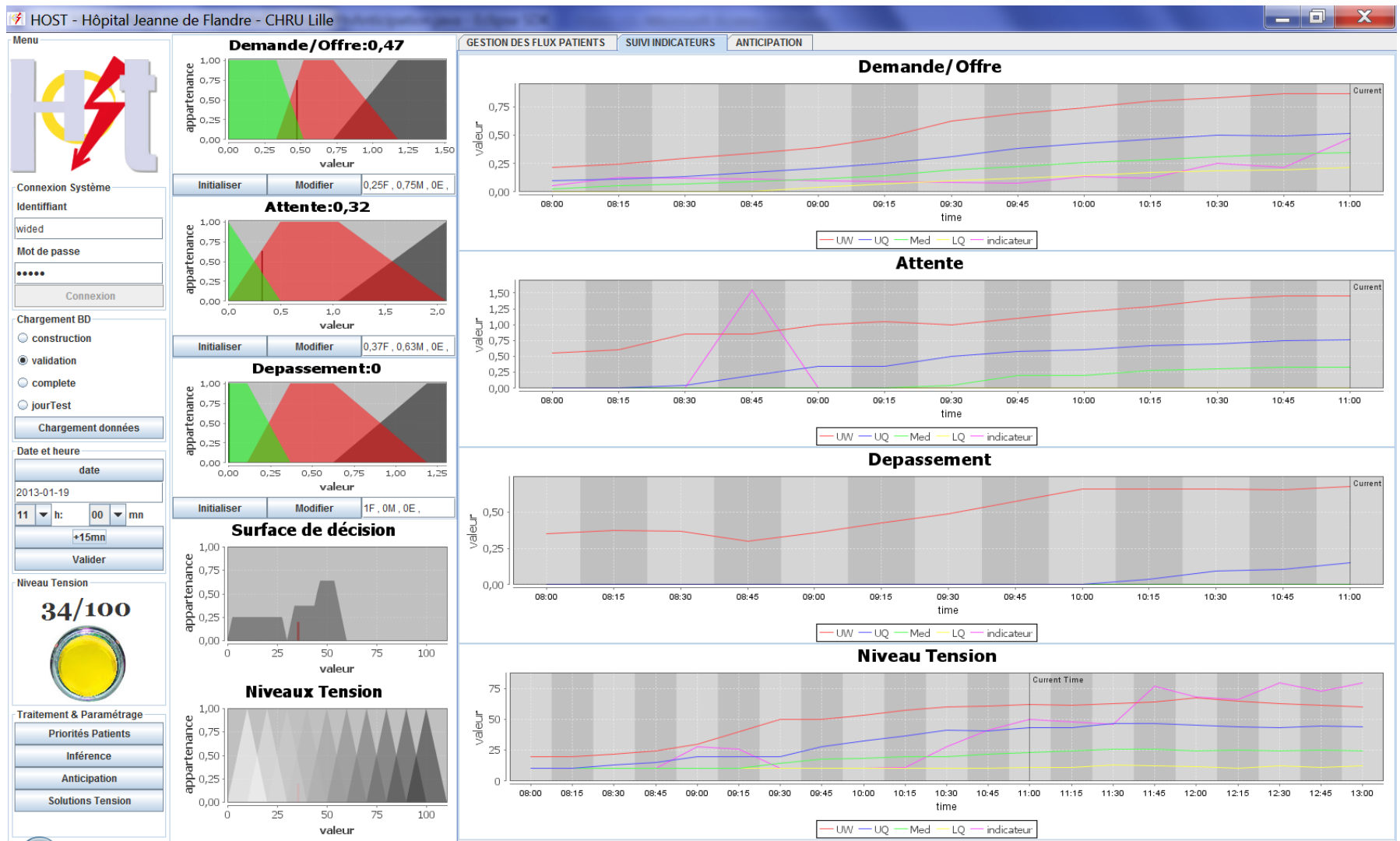
Patients USE: 30 Attente PPC: 2 Dépassement: 18 Patients UHCD: 5

Identifiant	Durée Estimée	0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h
69500	2h44mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
69505	1h28mn (Sortie 1mn)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
69509	2h17mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
69513	1h40mn (Sortie 6mn)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	100%
69522	1h40mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	100%
69521	1h53mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	61%	100%
69510	3h6mn (Sortie 2mn)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	0%	100%
69520	2h21mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	0%	100%
69507	3h36mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	58%	0%	100%
69511	3h30mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	38%	0%	100%
69508	3h52mn (Sortie 4mn)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	16%	0%	100%
69527	1h50mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	9%	0%	100%
69516	3h30mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	1%	0%	100%
69503	5h0mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	81%	0%	100%
69506	4h30mn (Sortie 1mn)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	0%	100%
69524	3h6mn	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Annexe 10 : Panneau d'anticipation à 21h00 le 19 Janvier 2013



Annexe 11 : Panneau de suivi d'indicateurs à 11h00 le 19 Janvier 2013



## Glossaire

- A : Attente
- ACF : Fonction d'Autocorrélation
- AR : Acuity Ratio
- AR : Autorégressif
- ANAP : Agence Nationale d'Appui à la Performance
- ANR : Agence Nationale de la Recherche
- API : Application Programming Interface
- ARIMA : Autoregressive Integrated Moving Average
- ARS : Agence Régional de Santé
- AS : Aide-Soignant
- ATU : Forfait Accueil et Traitement des Urgences
- BC : Base de Construction
- BD : Base de Données
- BO : Bloc Opératoire
- BR : Bed Ratio
- BV : Base de Validation
- CCMU : Classification Clinique des Malades aux Urgences
- CD : Charge de Dépassement
- CHRU : Centre Hospitalier Régional Universitaire
- CNIL : Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
- CoG : Centre de Gravité
- CSP : Code de la Santé Publique
- CR : Charge de soins Restante
- DR : Demand Ratio
- DV : Demand Value
- DP : Durée de Passage
- DPP : Durée de Passage Prévisionnelle
- DREES : Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques
- EDCS : Emergency Department Crowding Scale
- EDWOS : Emergency Department Work Score
- EI : Ecart Interquartile
- ELECTRE : ELimination Et Choix Traduisant la REalité
- EPRUS : Etablissement de Préparation et de Réponse aux Urgences Sanitaires
- ESI : Emergency Severity Index
- ETP : Equivalent Temps Plein

- F : Fisher test
- FAU : Forfait Annuel des Urgences
- FIE : Facteur d'Influence Externe
- GMSIH : Groupement pour la Modernisation du Système d'Information Hospitalier
- HAD : Hospitalisation à Domicile
- HAS : Haute Autorité de Santé
- HW : Holt-Winters
- HOST : Hôpital : Optimisation, Simulation et évitement des Tensions
- HPST : Hôpital, Patients, Santé, Territoires
- IAO : Infirmière d'Accueil et d'Orientation
- ICP : Indicateur Clef de Performance
- ICMED : International Crowding Measure in Emergency Departments
- IDE : Infirmier Diplômé d'Etat
- INVS : INstitut de Veille Sanitaire
- JRI : Java/R Interface
- LED : Lissage Exponentiel Double
- LES : Lissage Exponentiel Simple
- LF : Logique Floue
- LIM : Limousin
- MACBETH : Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TecHnique
- MAINH : Mission d'Appui à l'Investissement Hospitalier
- MAPE : Mean Absolute Percentage Error
- MASS : Ministère des Affaires Sociales et de la Santé
- MAUT: Multi Attribute Utility theory
- MCO : Moindres Carrés Ordinaires
- MeaH : Mission nationale d'expertise et d'audit Hospitaliers
- MG : Médecin Généraliste
- MIP : Midi-Pyrénées
- MM : Moyenne Mobile
- MoM : La Moyenne des Maxima
- MSFPH: Ministre de la Santé, de la Famille et des Personnes Handicapées
- MU : Médecin Urgentiste
- NEDOCS : National Emergency Department Overcrowding Score
- NS : Niveau de Satisfaction
- NPDC : Nord-Pas de Calais
- OMS : Organisation Mondiale de la Santé
- OR : Occupancy Rate
- ORSAN : Organisation de la Réponse du Système de Santé en Situations SANitaires exceptionnelles

- ORU : Observatoire Régional des Urgences
- PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur
- PH : Pédiatre Hospitalier
- PPC : Première Prise en Charge
- PROMETHEE : Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations
- QoS : Quality of Service
- RA : Rhône-Alpes
- RAT : Ratio d'Attente Totale dans l'USE
- RDO : Ratio Demande sur Offre dans l'USE
- RDT : Ratio de Dépassement Total dans l'USE
- READI : Real-time Emergency Analysis of Demand Indicators scores
- RMSE : Root Mean Square Error
- ROR : Répertoire Opérationnel des Ressources
- SADT : Structured Analysis and Design Technique
- SAGeT : Système d'Aide à la Gestion de Tension
- SAMU : Service d'Aide Médicale Urgente
- SARIMA : Seasonal ARIMA
- SARIMAX : Seasonal ARIMA with eXogenous input
- SAUV : Salle d'Accueil des Urgences Vitales
- SC : Série Chronologique
- SED : Simulation à Evénements Discrets
- SFMU : Société Française de Médecine d'Urgence
- SHA : Système Hybride d'Anticipation
- SI : Système d'Information
- SIH : Système d'Information Hospitalier
- SMA : Système Multi-Agents
- SMUR : Service Mobile d'Urgence et de Réanimation
- SU : Service d'Urgences
- SUP : Service d'Urgences Pédiatriques
- T2A : Tarification à l'Activité
- TO : Taux d'Occupation
- UHCD : Unité d'Hospitalisation de Courte Durée
- USE : Unité de Soins Externes

## Bibliographie

- Abbod, M.F., von Keyserlingk, D.G., Linkens, D.A., Mahfouf, M., 2001. Survey of utilisation of fuzzy technology in Medicine and Healthcare. *Fuzzy Sets Syst.* 120, 331–349.
- Abraham, G., Byrnes, G.B., Bain, C., 2009. Short-Term Forecasting of Emergency Inpatient Flow. *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 13, 380–388.
- ACEP, 2006. Crowding. *Ann. Emerg. Med.* 47, 585.
- Ajmi, I., Zgaya, H., Gammoudi, L., Hammadi, S., Renard, J.-M., 2014. Dynamic modeling of the patient journey in a Pediatric Emergency Department of CHRU of Lille. *Int. J. Comput. Technol.* 12, 3580–3590.
- Althaus, F., Paroz, S., Hugli, O., Ghali, W.A., Daepfen, J.-B., Peytremann-Bridevaux, I., Bodenmann, P., 2011. Effectiveness of interventions targeting frequent users of emergency departments: a systematic review. *Ann. Emerg. Med.* 58, 41–52.e42.
- ANAP, 2012. AUTO DIAGNOSTIC URGENCES.
- ANAP, 2010a. La loi HPST à l'hôpital : les clés pour comprendre.
- ANAP, 2010b. Piloter l'activité, mesurer l'efficacité.
- Arkun, A., Briggs, W.M., Patel, S., Datillo, P.A., Bove, J., Birkhahn, R.H., 2010. Emergency Department Crowding: Factors Influencing Flow. *West. J. Emerg. Med.* 11, 10–15.
- ARS-RA, 2013. Urgences hospitalières en Rhône-Alpes : évolution des activités de 2002 à 2012.
- Asplin, B.R., Magid, D.J., Rhodes, K.V., Solberg, L.I., Lurie, N., Camargo, C.A., 2003. A conceptual model of emergency department crowding. *Ann. Emerg. Med.* 42, 173–180.
- Asplin, B.R., Rhodes, K.V., Flottemesch, T.J., 2004. Is this emergency department crowded? A multicenter derivation and evaluation of an emergency department crowding scale (EDCS). *Acad. Emerg. Med.* 11, 484–5.
- Babulak, E., Wang, M., 2010. Discrete Event Simulation: State of the Art, in: Goti, A. (Ed.), *Discrete Event Simulations*. Sciyo.
- Bair, A.E., Song, W.T., Chen, Y.-C., Morris, B.A., 2010. The Impact of Inpatient Boarding on ED Efficiency: A Discrete-Event Simulation Study. *J. Med. Syst.* 34, 919–929.
- Bana e Costa, C.A., de Corte, J.-M., Vansnick, J.-C., Cochran, J.J., Cox, L.A., Keskinocak, P., Kharoufeh, J.P., Smith, J.C., 2010. MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique), in: *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. John Wiley & Sons, Inc.
- Becker, K., Thull, B., Käsmacher-Leidinger, H., Stemmer, J., Rau, G., Kalff, G., Zimmermann, H.J., 1997. Design and validation of an intelligent patient monitoring and alarm system based on a fuzzy logic process model. *Artif. Intell. Med.* 11, 33–53.
- Ben Bachouch, R., Guinet, A., Hajri-Gabouj, S., 2010. An optimization model for task assignment in home health care, in: *Actes sur CD ROM*. Venise, Italie, p. 6 pages.



- Ben Othman, 2015. Ordonnancement de ressources à compétences multiples dans un service d'urgence, Thèse Ecole Centrale de Lille (pas encore soutenue).
- Bernstein, S.L., Aronsky, D., Duseja, R., Epstein, S., Handel, D., Hwang, U., McCarthy, M., John McConnell, K., Pines, J.M., Rathlev, N., Schafermeyer, R., Zwemer, F., Schull, M., Asplin, B.R., Society for Academic Emergency Medicine, Emergency Department Crowding Task Force, 2009. The effect of emergency department crowding on clinically oriented outcomes. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 16, 1–10.
- Bernstein, S.L., Verghese, V., Leung, W., Lunney, A.T., Perez, I., 2003. Development and validation of a new index to measure emergency department crowding. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 10, 938–942.
- Bouchon-Meunier, B., 1990. *La logique floue et ses applications*. Addison-Wesley France, Paris.
- Bourbonnais, R., Terraza, M., 1998. *Analyse des séries temporelles en économie*. Presses Universitaires de France - PUF, Paris.
- Bourbonnais, R., Usunier, J.-C., 2007. *Prévision des Ventes : Théorie et pratique*, Édition : 4e édition. ed. Economica, Paris.
- Box, G.E.P., Jenkins, G.M., 1976. *Time series analysis: forecasting and control*. Holden-Day.
- Boyle, A., Beniuk, K., Higginson, I., Atkinson, P., 2012. Emergency Department Crowding: Time for Interventions and Policy Evaluations. *Emerg. Med. Int.* 2012, e838610.
- Boyle, A., Coleman, J., Sultan, Y., Dhakshinamoorthy, V., O'Keeffe, J., Raut, P., Beniuk, K., 2013. Validating the Icmcd (international Crowding Measure in Emergency Departments). *Emerg. Med. J.* 30, 869–869.
- Boyle, J., Wallis, M., Jessup, M., Crilly, J., Lind, J., Miller, P., Fitzgerald, G., 2008. Regression forecasting of patient admission data, in: 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008. Presented at the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008, pp. 3819–3822.
- Brans, J.P., Vincke, P., Mareschal, B., 1986. How to select and how to rank projects: The Promethee method. *Eur. J. Oper. Res., Mathematical Programming Multiple Criteria Decision Making* 24, 228–238.
- Brown, R., 1962. *Smoothing, Forecasting and Prediction*. Englewood Cliffs NJ Prentice-Hall.
- Büyüközkan, G., Çifçi, G., Güleriyüz, S., 2011. Strategic analysis of healthcare service quality using fuzzy AHP methodology. *Expert Syst. Appl.* 38, 9407–9424.
- Chaabane, S., 2004. *Gestion prédictive des Blocs Opératoires*. L'institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- Chandoul, W., Camus, H., Zoghlami, N., Hammadi, S., Di Pompeo, C., 2013. Assessing Emergency Department Crowding based on Fuzzy logic, The IADIS International Multi Conference on Computer Science and Information Systems- e-Health (MCCSIS 2013), Prague, République tchèque.
- Chandoul, W., Camus, H., Zoghlami, N., Hammadi, S., Martinot, A., 2014. A robust assessment of effective healthcare demand in the Pediatric Emergency Department, in: 2014 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT).

- Presented at the 2014 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pp. 195–200.
- Chandoul, W., Hammadi, S., Camus, H., Zgaya, H., Di Pompeo, C., Trincaretto, F., 2012. Evolutionary Approach for Multi-Objective Scheduling in Surgical Unit, in: Conférence Francophone Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH 2012). Quebec, Canada.
- Collis, J., 2010. Adverse effects of overcrowding on patient experience and care. *Emerg. Nurse J. RCN Accid. Emerg. Nurs. Assoc.* 18, 34–39.
- Conforti, D., Guerriero, F., Guido, R., 2010. A multi-objective block scheduling model for the management of surgical operating rooms: New solution approaches via genetic algorithms, in: 2010 IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM). Presented at the 2010 IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM), pp. 1–5.
- Congram, C., Epelman, M., 1995. How to describe your service: An invitation to the structured analysis and design technique. *Int. J. Serv. Ind. Manag.* 6, 6–23.
- Côté, M.J., Smith, M.A., Eitel, D.R., Akçali, E., 2013. Forecasting emergency department arrivals: a tutorial for emergency department directors. *Hosp. Top.* 91, 9–19.
- Daknou, A., 2011. Architecture distribuée à base d’agents pour optimiser la prise en charge des patients dans les services d’urgence en milieu hospitalier. Ecole Centrale de Lille.
- Derlet, R.W., Richards, J.R., 2008. Ten Solutions for Emergency Department Crowding. *West. J. Emerg. Med.* 9, 24–27.
- Deschamps, F., Leman, C., 2005. Une fonction émergente: La formation de l’Infirmière d’Accueil et d’Orientation : I.A.O. Ou infirmière d’organisateur de l’accueil : I.O.A. XXI COLLOQUE NATIONAL DES CESU, Reims, France.
- DREES, 2014. Urgences : la moitié des patients restent moins de deux heures, hormis ceux maintenus en observation.
- DREES, 2013. enquête nationale sur les structure des urgences hospitalières.
- DREES, 2002. Enquête Nationale : Usagers des Services d’Urgence.
- Dubois, D., Prade, H., Ughetto, L., 1997. Checking the coherence and redundancy of fuzzy knowledge bases. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* 5, 398–417.
- Durand-Aprile, A.-C., 2012. Les consultants “non-urgents” dans les services d’urgence : état des lieux et pistes de solutions. Aix-Marseille.
- Epstein, S.K., Tian, L., 2006. Development of an emergency department work score to predict ambulance diversion. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 13, 421–426.
- Falvo, T., Grove, L., Stachura, R., Zirkin, W., 2007. The Financial Impact of Ambulance Diversions and Patient Elopements. *Acad. Emerg. Med.* 14, 58–62.
- Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., 2005. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer Science & Business Media.
- Freeman, T., 2002. Using performance indicators to improve health care quality in the public sector: a review of the literature. *Health Serv. Manage. Res.* 15, 126–137.
- Gardel, C., Goubet, S., Toupin, M.-H., Le Moign, R., 2009. Les indicateurs HAS : sélection, gestion et utilisation. *Risques Qual. En Milieu Soins* 34–40.

- Gardner, R.L., Sarkar, U., Maselli, J.H., Gonzales, R., 2007. Factors associated with longer ED lengths of stay. *Am. J. Emerg. Med.* 25, 643–650.
- Gentile, S., Amadei, E., Bouvenot, J., Durand, A.C., Bongiovanni, I., Haro, J., Giraud, C., Sambuc, R., 2004. Attitudes et comportement des usagers face à une urgence réelle ou ressentie. *Santé Publique* 16, 63–74.
- Grabisch, M., Perny, P., 1999. Agrégation multicritère, in: *Utilisations de La Logique Floue*. In B. Bouchon and C. Marsala, Hermès.
- Günal, M.M., Pidd, M., 2010. Discrete event simulation for performance modelling in health care: a review of the literature. *J. Simul.* 4, 42–51.
- Handel, D.A., Ginde, A.A., Raja, A.S., Rogers, J., Sullivan, A.F., Espinola, J.A., Camargo, C.A., 2010. Implementation of crowding solutions from the American College of Emergency Physicians Task Force Report on Boarding. *Int. J. Emerg. Med.* 3, 279–286.
- Hanset, A., Meskens, N., Duvivier, D., 2010. Using constraint programming to schedule an operating theatre, in: *2010 IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM)*. Presented at the 2010 IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM), pp. 1–6.
- Holt, C.C., 1975. Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. Memo. 52 Carnegie Inst Technol.
- Hoot, N.R., Aronsky, D., 2008. Systematic review of emergency department crowding: causes, effects, and solutions. *Ann. Emerg. Med.* 52, 126–136.
- Hoot, N.R., Epstein, S.K., Allen, T.L., Jones, S.S., Baumlin, K.M., Chawla, N., Lee, A.T., Pines, J.M., Klair, A.K., Gordon, B.D., Flottemesch, T.J., LeBlanc, L.J., Jones, I., Levin, S.R., Zhou, C., Gadd, C.S., Aronsky, D., 2009a. Forecasting emergency department crowding: an external, multicenter evaluation. *Ann. Emerg. Med.* 54, 514–522.e19.
- Hoot, N.R., LeBlanc, L.J., Jones, I., Levin, S.R., Zhou, C., Gadd, C.S., Aronsky, D., 2009b. Forecasting Emergency Department Crowding: A Prospective, Real-time Evaluation. *J. Am. Med. Assoc.* 16, 338–345.
- Hoot, N.R., LeBlanc, L.J., Jones, I., Levin, S.R., Zhou, C., Gadd, C.S., Aronsky, D., 2008. Forecasting Emergency Department Crowding: A Discrete Event Simulation. *Ann. Emerg. Med.* 52, 116–125.
- Howell, E., Bessman, E., Kravet, S., Kolodner, K., Marshall, R., Wright, S., 2008. Active Bed Management by Hospitalists and Emergency Department Throughput. *Ann. Intern. Med.* 149, 804–810.
- Hunt, K.A., Weber, E.J., Showstack, J.A., Colby, D.C., Callahan, M.L., 2006. Characteristics of frequent users of emergency departments. *Ann. Emerg. Med.* 48, 1–8.
- Hwang, U., Concato, J., 2004. Care in the emergency department: how crowded is overcrowded? *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 11, 1097–1101.
- Hwang, U., Richardson, L., Livote, E., Harris, B., Spencer, N., Sean Morrison, R., 2008. Emergency department crowding and decreased quality of pain care. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 15, 1248–1255.
- Hyndman, R., Kostenko, A.V., 2007. Minimum Sample Size requirements for Seasonal Forecasting Models. *Foresight Int. J. Appl. Forecast.* 12–15.

- INVS, 2008. Système de surveillance de l'activité hospitalière en Aquitaine, Bilan des données sanitaires 2007.
- Jacobson, S.H., Hall, S.N., Swisher, J.R., 2006. Discrete-Event Simulation of Health Care Systems, in: Hall, R.W. (Ed.), Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery, International Series in Operations Research & Management Science. Springer US, pp. 211–252.
- Jlassi, J., 2009. Amélioration de la performance par la modélisation des flux logistiques des patients dans un service d'urgence hospitalier. Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis.
- Jones, S.S., Allen, T.L., Flottemesch, T.J., Welch, S.J., 2006. An independent evaluation of four quantitative emergency department crowding scales. Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med. 13, 1204–1211.
- Jones, S.S., Thomas, A., Evans, R.S., Welch, S.J., Haug, P.J., Snow, G.L., 2008. Forecasting daily patient volumes in the emergency department. Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med. 15, 159–170.
- Jun, J.B., Jacobson, S.H., Swisher, J.R., Correspondence, 1999. Application of discrete-event simulation in health care clinics: A survey. J. Oper. Res. Soc. 50, 109–123.
- Kaddoussi, A., Hammadi, S., Duflos, E., VANHEEGHE, P., Hayfa Zgaya, 2010. Generic Need Estimating Agents for Resources Forecasting. Conf. Syst. Cybern. Inform.
- Kahraman, C., 2008. Fuzzy Multi-Criteria Decision Making: Theory and Applications with Recent Developments. Springer.
- Kam, H.J., Sung, J.O., Park, R.W., 2010. Prediction of Daily Patient Numbers for a Regional Emergency Medical Center using Time Series Analysis. Healthc. Inform. Res. 16, 158–165.
- Keeney, R.L., Raiffa, H., 1993. Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs. Cambridge University Press.
- Kelton, W.D., Sadowski, R.P., Sturrock, D.T., 2009. Simulation with Arena, Édition : 5. ed. McGraw-Hill Higher Education, Singapore; New York.
- Khare, R.K., Powell, E.S., Reinhardt, G., Lucenti, M., 2009. Adding More Beds to the Emergency Department or Reducing Admitted Patient Boarding Times: Which Has a More Significant Influence on Emergency Department Congestion? Ann. Emerg. Med. 53, 575–585.e2.
- Kulak, O., Durmuşoğlu, M.B., Kahraman, C., 2005. Fuzzy multi-attribute equipment selection based on information axiom. J. Mater. Process. Technol. 169, 337–345.
- Kulstad, E.B., Hart, K.M., Waghchoure, S., 2010. Occupancy Rates and Emergency Department Work Index Scores Correlate with Leaving Without Being Seen. West. J. Emerg. Med. 11, 324–328.
- LaCalle, E., Rabin, E., 2010. Frequent users of emergency departments: the myths, the data, and the policy implications. Ann. Emerg. Med. 56, 42–48.
- Law, A., 2006. Simulation Modeling and Analysis with Expertfit Software, 4 edition. ed. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, Boston.

- Lee, A.H., Gracey, M., Wang, K., Yau, K.K.W., 2005. A robustified modeling approach to analyze pediatric length of stay. *Ann. Epidemiol.* 15, 673–677.
- Liberatore, M.J., Nydick, R.L., 2008. The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *Eur. J. Oper. Res.* 189, 194–207.
- Li, S.-T., Chiu, N.-C., Kung, W.-C., Chen, J.-C., 2013. Factors affecting length of stay in the pediatric emergency department. *Pediatr. Neonatol.* 54, 179–187.
- Liu, S.W., Hamedani, A.G., Brown, D.F.M., Asplin, B., Camargo, C.A., 2013. Established and Novel Initiatives to Reduce Crowding in Emergency Departments. *West. J. Emerg. Med.* 14, 85–89.
- Lowthian, J.A., Curtis, A.J., Cameron, P.A., Stoelwinder, J.U., Cooke, M.W., McNeil, J.J., 2010. Systematic review of trends in emergency department attendances: an Australian perspective. *Emerg. Med. J.* emj.2010.099226.
- Lu, J., Zhang, G., Ruan, D., 2007. *Multi-objective Group Decision Making: Methods, Software and Applications With Fuzzy Set Techniques*. Imperial College Press, London, UK, UK.
- Magid, D.J., Asplin, B.R., Wears, R.L., 2004. The quality gap: searching for the consequences of emergency department crowding. *Ann. Emerg. Med.* 44, 586–588.
- Mahfouf, M., Abbod, M.F., Linkens, D.A., 2001. A survey of fuzzy logic monitoring and control utilisation in medicine. *Artif. Intell. Med.* 21, 27–42.
- Markt, P.L., Mayer, M.H., 1997. Witness Simulation Software A Flexible Suite Of Simulation Tools, in: *Simulation Conference, 1997., Proceedings of the 1997 Winter*. Presented at the Simulation Conference, 1997., Proceedings of the 1997 Winter, pp. 711–717.
- MASS, 2015. Guide d'aide à l'organisation de l'offre de soins en situations sanitaires exceptionnelles.
- MASS, 2007. LA TARIFICATION DES ETABLISSEMENTS DE SANTE.
- MASS, 2006. Plan blanc et gestion de crise.
- McCarthy, M.L., Aronsky, D., Jones, I.D., Miner, J.R., Band, R.A., Baren, J.M., Desmond, J.S., Baumlin, K.M., Ding, R., Shesser, R., 2008. The emergency department occupancy rate: a simple measure of emergency department crowding? *Ann. Emerg. Med.* 51, 15–24, 24.e1–2.
- MeaH, 2008. Réduire les temps d'attente et de passage aux urgences. Retours d'expériences.
- Morzuch, B., Allen, P., 2006. Forecasting Hospital Emergency Department Arrivals. Presented at the 26th Annual Symposium on Forecasting, Espagne.
- Moskop, J.C., Sklar, D.P., Geiderman, J.M., Schears, R.M., Bookman, K.J., 2009a. Emergency department crowding, part 1--concept, causes, and moral consequences. *Ann. Emerg. Med.* 53, 605–611.
- Moskop, J.C., Sklar, D.P., Geiderman, J.M., Schears, R.M., Bookman, K.J., 2009b. Emergency department crowding, part 2--barriers to reform and strategies to overcome them. *Ann. Emerg. Med.* 53, 612–617.
- MSFPH, 2004. Plan « Urgences ».
- ORU-Bourgogne, 2011. Médecine d'urgence.
- ORU-MIP, 2014. Rapport annuel 2013 L'activité des structures d'urgence en Midi-Pyrénées.

- ORU-PACA, 2013. Hôpital en Tension, DISPOSITIF DE LA REGION PACA.
- Oualidi, E., Ali, M., Saadi, J., 2013. Améliorer la prise en charge des urgences : apport de la modélisation et de la simulation de flux. *Santé Publique* 25, 433–439.
- Pham, J.C., Patel, R., Millin, M.G., Kirsch, T.D., Chanmugam, A., 2006. The Effects of Ambulance Diversion: A Comprehensive Review. *Acad. Emerg. Med.* 13, 1220–1227.
- Phuong, N.H., Kreinovich, V., 2001. Fuzzy logic and its applications in medicine. *Int. J. Med. Inf.* 62, 165–173.
- Pillet, M., Courtois, M.P., Chantal Martin-Bonnefous, Pascal Bonnefous, Alain, Martin-Bonnefous, C., Courtois, A., Bonnefous, P., 2011. *Gestion de production*. Éditions Eyrolles.
- Pines, J.M., Asplin, B.R., Kaji, A.H., Lowe, R.A., Magid, D.J., Raven, M., Weber, E.J., Yealy, D.M., 2011. Frequent users of emergency department services: gaps in knowledge and a proposed research agenda. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 18, e64–69. doi:10.1111/j.1553-2712.2011.01086.x
- Pines, J.M., Iyer, S., Disbot, M., Hollander, J.E., Shofer, F.S., Datner, E.M., 2008. The effect of emergency department crowding on patient satisfaction for admitted patients. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 15, 825–831.
- RAKOTOMALALA, R., 2005. Arbres de Décision. *Rev. Modul.* 163–187.
- Reeder, T.J., Garrison, H.G., 2001. When the safety net is unsafe: real-time assessment of the overcrowded emergency department. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 8, 1070–1074.
- Richardson, D.B., 2006. Increase in patient mortality at 10 days associated with emergency department overcrowding. *Med. J. Aust.* 184, 213–216.
- Rommelfanger, H.J., 1998. Multicriteria decision making using fuzzy logic, in: *Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS, 1998 Conference of the North American*. Presented at the Fuzzy Information Processing Society - NAFIPS, 1998 Conference of the North American, pp. 360–364.
- Roy, B., 1991. The outranking approach and the foundations of electre methods. *Theory Decis.* 31, 49–73.
- Saadani, N., Guinet, A., Chaabane, S., 2006. ORDONNANCEMENT DES BLOCS OPERATOIRES. 6ème Conférence Francoph. MODélisation Simul.- «Modélisation Optim. Simul. Systèmes Défis Oppor. » MOSIM'06.
- Saaty, T.L., 1988. What is the Analytic Hierarchy Process?, in: Mitra, G., Greenberg, H.J., Lootsma, F.A., Rijkaert, M.J., Zimmermann, H.J. (Eds.), *Mathematical Models for Decision Support*, NATO ASI Series. Springer Berlin Heidelberg, pp. 109–121.
- Schriber, T.J., Brunner, D.T., 2005. Inside discrete-event simulation software: how it works and why it matters, in: *Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter*. Presented at the Simulation Conference, 2005 Proceedings of the Winter, p. 11 pp.–.
- Schweigler, L.M., Desmond, J.S., McCarthy, M.L., Bukowski, K.J., Ionides, E.L., Younger, J.G., 2009. Forecasting Models of Emergency Department Crowding. *Acad. Emerg. Med.* 16, 301–308.

- SFMU, 2003a. Charte de Médecine d'Urgence.
- SFMU, 2003b. Recommandations concernant la mise en place, la gestion, l'utilisation, et l'évaluation d'une Salle d'Accueil des Urgences Vitales (S.A.U.V.).
- SFMU, S.F. de M. d'Urgence, 2013. Le triage en structure des urgences, Recommandations formalisées d'experts.
- SFMU, S.F. de M. d'Urgence, 2005. Cahier des charges des charges National pour l'informatisation des services d'urgences.
- Sheldon, T., 1998. Promoting health care quality: what role performance indicators? *Qual. Health Care* 7, 45–50.
- Singer, A.J., Thode Jr, H.C., Viccellio, P., Pines, J.M., 2011. The Association Between Length of Emergency Department Boarding and Mortality. *Acad. Emerg. Med.* 18, 1324–1329.
- Smith, E., Eloff, J.H.P., 2000. Cognitive fuzzy modeling for enhanced risk assessment in a Health Care Institution.
- Sprivulis, P.C., Da Silva, J.-A., Jacobs, I.G., Frazer, A.R.L., Jelinek, G.A., 2006. The association between hospital overcrowding and mortality among patients admitted via Western Australian emergency departments. *Med. J. Aust.* 184, 208–212.
- Sun, X., Eklund, P.W., Thomas, D.A., 1994. Decision Making and Fuzzy Set Theory: Combining Aggregated Fuzzy Sets to Obtain Integrated Comprehensive Indices. Department of Computer Science, The University of Adelaide.
- Sun, Y., Heng, B.H., Seow, Y.T., Seow, E., 2009. Forecasting daily attendances at an emergency department to aid resource planning. *BMC Emerg. Med.* 9, 1.
- Sutradhar, B.C., MacNeil, I.B., Dagum, E.B., 1995. A simple test for stable seasonality. *J. Stat. Plan. Inference, Statistics '91 Canada Conference Papers* 43, 157–167.
- Thomaidis, N.S., Nikitakos, N., Dounias, G.D., 2006. The evaluation of information technology projects: a fuzzy multicriteria decision-making approach. *Int. J. Inf. Technol. Decis. Mak.* 05, 89–122.
- Tong-Tong, J.-R., 1995. *La logique floue*. Hermes Science Publications, Paris.
- Uscher-Pines, L., Pines, J., Kellermann, A., Gillen, E., Mehrotra, A., 2013. Emergency department visits for nonurgent conditions: systematic literature review. *Am. J. Manag. Care* 19, 47–59.
- Vuagnat, A., 2013. Les urgences hospitalières, qu'en sait-on ?
- Weiss, S.J., Derlet, R., Arndahl, J., Ernst, A.A., Richards, J., Fernández-Frackelton, M., Schwab, R., Stair, T.O., Vicellio, P., Levy, D., Brautigan, M., Johnson, A., Nick, T.G., Fernández-Frankelton, M., 2004. Estimating the degree of emergency department overcrowding in academic medical centers: results of the National ED Overcrowding Study (NEDOCS). *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 11, 38–50.
- Weiss, S.J., Ernst, A.A., Nick, T.G., 2006. Comparison of the National Emergency Department Overcrowding Scale and the Emergency Department Work Index for quantifying emergency department crowding. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 13, 513–518.

- Wiler, J.L., Griffey, R.T., Olsen, T., 2011. Review of Modeling Approaches for Emergency Department Patient Flow and Crowding Research. *Acad. Emerg. Med.* 18, 1371–1379.
- Wiler, J.L., Handel, D.A., Ginde, A.A., Aronsky, D., Genes, N.G., Hackman, J.L., Hilton, J.A., Hwang, U., Kamali, M., Pines, J.M., Powell, E., Sattarian, M., Fu, R., 2012. Predictors of patient length of stay in 9 emergency departments. *Am. J. Emerg. Med.* 30, 1860–1864.
- Windal, F., Jeribi, K., Ficheur, G., Degoul, S., Martinot, A., Beuscart, R., Renard, J.-M., 2014. Pediatric emergency department crowding: survival tree clustering for length of patient stay. *Stud. Health Technol. Inform.* 205, 1095–1099.
- Winters, P.R., 1960. Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages. *Manag. Sci.* 6, 324–342.
- Wong, H.J., Morra, D., Caesar, M., Carter, M.W., Abrams, H., 2010. Understanding hospital and emergency department congestion: an examination of inpatient admission trends and bed resources. *CJEM* 12, 18–26.
- Wuerz, R., 2001. Emergency severity index triage category is associated with six-month survival. ESI Triage Study Group. *Acad. Emerg. Med. Off. J. Soc. Acad. Emerg. Med.* 8, 61–64.
- Yancer, D.A., Foshee, D., Cole, H., Beauchamp, R., de la Pena, W., Keefe, T., Smith, W., Zimmerman, K., Lavine, M., Toops, B., 2006. Managing capacity to reduce emergency department overcrowding and ambulance diversions. *Jt. Comm. J. Qual. Patient Saf. Jt. Comm. Resour.* 32, 239–245.
- Yucel, G., Cebi, S., Hoegel, B., Ozok, A.F., 2012. A fuzzy risk assessment model for hospital information system implementation. *Expert Syst. Appl.* 39, 1211–1218.



**Titre :** Conception et réalisation d'un système d'aide à la gestion des tensions dans les services d'urgences pédiatriques : vers des nouvelles approches d'évaluation, de quantification et d'anticipation

**Résumé :** La Tension dans un Service d'Urgences (SU) est un déséquilibre entre le flux de charge des soins et la capacité de prise en charge sur une durée suffisante pouvant entraîner des conséquences néfastes au bon fonctionnement. Elle se reflète par la surcharge des locaux, l'allongement des délais de traitement et d'attente. Ce qui provoque à la fois l'insatisfaction des patients et l'anxiété du personnel. Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet HOST<sup>1</sup> financé par le programme ANR<sup>2</sup> TECSAN-2011 afin d'élaborer un Système d'Aide à la Gestion de la Tension (SAGeT) assurant trois objectifs:

1. L'évaluation multicritère grâce à une panoplie d'indicateurs agrégés par la logique floue afin de résoudre la subjectivité du ressenti humain de la tension. Chaque scénario d'évaluation déclenche des règles de décision spécifiques ciblant ainsi des points de défaillance à surveiller.
2. L'anticipation de la demande sur différents horizons temporels : l'application des méthodes SARIMA<sup>3</sup> et SARIMAX<sup>4</sup> est justifiée par la saisonnalité des chroniques de visites et l'influence de certains paramètres externes (épidémies, vacances, météo). De plus, la qualité de l'information venant de l'historique a été améliorée par une recombinaison d'historique basée sur la vraisemblance journalière.
3. L'amélioration de la gestion des flux et le pilotage de l'activité puisque l'utilisation de SAGeT comme un tableau de bord offre une vue macro sur l'ensemble de l'activité (lits occupés, patients en attente, durées de passages prévisionnelles et allongements excessifs).

Les simulations traitent des vrais scénarios de tension observés entre 2011 et 2013 dans le SU Pédiatriques Jeanne de Flandre du CHRU-Lille<sup>5</sup>.

**Mots-clefs :** Système d'Aide à la Gestion des Tensions, Service d'Urgences Pédiatriques, Evaluation et quantification, Anticipation, gestion des flux, pilotage de l'activité, Logique floue, SARIMA, SARIMAX

**Title:** Design and implementation of a management support system of strain in the pediatric emergency department: new approaches of assessment, quantification and forecasting

**Abstract:** The strain in an Emergency Department (ED) is an imbalance between the total demand load of healthcare treatment and resources ability to support it during a convenient horizon, which may results negative consequences on the smooth running of the activity. It is reflected by overcrowding, longer treatment and waiting times which causes both patients dissatisfaction and anxiety of personnel. This thesis is part of the HOST<sup>1</sup> project funded by the ANR<sup>2</sup> TECSAN-2011 program to develop a Management Support System of Strain (MSSS) ensuring three objectives:

1. Multi-criteria evaluation through a variety of indicators aggregated by fuzzy logic to solve the subjectivity of the human feeling of strain. Each evaluation scenario involves specific decision rules targeting to supervise failure points.
2. Demand forecasting through several time horizons: applying SARIMA<sup>3</sup> and SARIMAX<sup>4</sup> methods is justified by the time series seasonality of visits and the influence of some external parameters (epidemics, holidays, weather). In addition, the quality of the historical information has been improved by a history rebuilding based on the daily likelihood.
3. Improving flow management and activity monitoring since the use of MSSS as a dashboard provides a macro view of the whole activity (beds occupied, waiting, estimated length of stay, excessive elongation).

The simulations address real strain scenarios observed between 2011 and 2013 in the Pediatric ED Jeanne de Flandre of the Regional University Hospital of Lille (France)<sup>5</sup>.

**Keywords:** Management Support System of Strain, Pediatric emergency department, Assessment and quantification, forecasting, flow management, activity monitoring, Fuzzy logic, SARIMA, SARIMAX

<sup>1</sup> Hôpital : Optimisation, Simulation et évitement des Tensions

<sup>2</sup> Agence Nationale de la Recherche

<sup>3</sup> Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average

<sup>4</sup> Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with exogenous input

<sup>5</sup> Centre Hospitalier Régional Universitaire de Lille