

## COUPLAGE MODÈLE DE MARKOV – MODÈLE D'OPTIMISATION : UNE APPLICATION DANS LE DOMAINE MEDICO-SOCIAL

C. COMBES<sup>1</sup>, J. AZEMA<sup>2</sup>

A. DUSSAUCHOY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Hubert CURIEN – UMR CNRS 5516  
Université Jean Monnet de Saint-Etienne  
18 rue Benoît Lauras

42023 Saint-Etienne cedex 2- France

<sup>2</sup>Université Jean Monnet

23 avenue du Docteur Paul Michelon

42023 Saint-Etienne cedex 2- France

combes@univ-st-etienne.fr, azema@univ-st-etienne.fr

<sup>3</sup>Laboratoire Informatique pour l'Entreprise  
et des Systèmes de Production,  
Université de Lyon (Claude Bernard Lyon 1),  
43 bd du 11 novembre 1918  
69622 Villeurbanne cedex - France  
alain-b@bat710.univ-lyon1.fr

**RÉSUMÉ :** *Le travail présenté dans cet article a été réalisé dans le cadre d'un contrat avec la Mutualité Française de la Loire. Cette étude concerne le problème du vieillissement et de l'handicap dans les établissements de longs et moyens séjours. L'objectif est de dimensionner les besoins en structure d'accueil à court-terme, moyen-terme et long-terme. Dans cet article, nous montrons l'apport de l'apprentissage automatique et de la fouille de données pour définir des profils des résidents de maisons de retraite et leur évolution dans le temps afin de dimensionner les besoins en soins de base et par conséquent le nombre de ressources nécessaires. Pour atteindre cet objectif, nous inférons un automate probabiliste (à partir des données recueillies) qui permet ensuite de déduire un modèle markovien. Comme notre système admet un état stationnaire, nous pouvons ensuite planifier les admissions dans les différentes unités de soins respectant strictement les contraintes de sécurité relatives au nombre de ressources humaines nécessaires pour réaliser les soins de base. Nous constatons que le système est en surcharge de travail eu égard à l'état stationnaire. Grâce à la simulation et plus particulièrement au modèle markovien, nous estimons la durée avant d'atteindre un équilibre (l'état stationnaire) et le risque de dépassement horaire en soins de base.*

**MOTS-CLÉS :** *Inférence d'automates probabilistes, Markov, optimisation, simulation, domaine médico-social, établissements longs et moyens séjours*

### 1. INTRODUCTION

Les établissements sanitaires et sociaux tels que les maisons de retraite médicalisées comprennent un grand nombre de secteurs d'activités qui dépendent non seulement d'un système central d'approvisionnement mais également du fonctionnement des autres secteurs, par l'intermédiaire de flux de résidents, de matériels, d'information, financiers et de prestations de services (interne ou externe). Ce système est amené à définir des politiques de gestion et de planification pour résoudre des problèmes de partage de ressources. La nature aléatoire des trajectoires des résidents induit également des problèmes d'affectation des ressources (matérielles et humaines) et oblige à réagir vite.

Le problème de l'optimisation globale de ces établissements constitue donc une problématique intéressante et un challenge tant sur le plan de la recherche que sur le plan applicatif. La problématique des outils de gestion reste encore une question ouverte.

Ce projet est réalisé en collaboration avec La Mutualité Française de la Loire qui souhaite mettre en place un contrôle de gestion efficace sur les bases de l'approche ABC/ABM.

Ce projet a pour objectif de concevoir un environnement informatique d'aide à la décision dédié aux

professionnels de santé médico-sociale pour les décisions stratégiques (quelle activité doit-on développer, pour quels coûts ? Ouverture ou non de nouvelles structures d'accueil ? Si oui lesquelles ? etc.) afin de satisfaire et de proposer une offre de soins de qualité aux résidents dépendants de maisons de retraite médicalisées, grâce à la mutualisation des compétences locales et des ressources (personnel, unité de radiologie, laboratoire, pharmacie etc..).

D'une part, à partir de la tarification EHPAD (hébergement, soins et dépendance) et des différents profils présents dans la maison de retraite, l'objectif est d'identifier le dimensionnement en nombre de lits en fonction des profils pouvant être pris en charge afin d'atteindre un équilibre budgétaire préalablement fixé par les décideurs, en vérifiant bien que les personnels puissent assumer la charge de travail.

D'autre part, des simulations de prévision de l'évolution de la population de résidents seront réalisées afin d'identifier la charge de travail à court terme, moyen terme et long terme et le chiffre d'affaires potentiel. Ceci permettra de vérifier, à partir de la liste d'attente, quel(s) profil(s) faudrait(ait)-il(s) accepter pour assurer aussi bien des critères de qualité/sûreté que des critères relatifs à l'activité générée et des critères financiers. Des

prévisions sont estimées par des outils de fouille de données et pourront être ensuite simulées.

Une des premières étapes de ce projet consiste en :

1. L'identification des profils de résidents,
2. L'étude de l'évolution des profils en fonction du temps,
3. Le recensement et l'évaluation des activités par profils,
4. Le dimensionnement des différentes structures,
5. La prévision et la planification de la demande (en soins en hébergement ...) à court terme moyen terme et à long terme.

Dans cet article, nous présentons les points 1 et 2 cités ci-dessus, à savoir, l'étude des profils de résidents et de l'évolution de ces derniers au court du temps. Ainsi il sera possible d'estimer en fonction du modèle de charge actuel d'une maison de retraite, quel sera le profil « futur » (éventuel) des résidents dans 6 mois, 1 an, 2 ans...

Cet article est divisé en dix parties. Après une introduction décrivant le cadre de l'étude, nous présentons dans les parties 2 et 3, les données observées et le cadre méthodologique. Ce cadre méthodologique repose sur une approche apprentissage automatique et fouille de données couplées à l'optimisation et la simulation. Un état de l'art sur ces travaux est présenté au paragraphe 4. Au travers d'un exemple concernant le domaine médico-social et plus particulièrement le vieillissement de la population dans les EHPAD (Etablissement d'Hébergement des Personnes Agées Dépendantes), nous décrivons paragraphe 5, comment les profils des résidents ont été définis et validés. Le paragraphe 6 étudie les techniques utilisées (inférence d'automates probabilistes) permettant de modéliser l'évolution des profils dans le temps. A partir de cet automate, un modèle de Markov a été déduit (paragraphe 7), permettant de vérifier que notre système atteint bien un état stationnaire. Afin de planifier les admissions et la répartition dans les différentes unités des EHPAD, nous proposons un modèle d'optimisation. Le paragraphe 8 décrit ce modèle et les résultats obtenus (correspondant à un modèle de charge). Dans le paragraphe 8, nous estimons pour ce modèle de charge et pour l'état du système, au bout de combien de temps nous espérons retrouver l'état stationnaire. Nous terminons par une conclusion et quelques perspectives de recherche.

## 2. LES DONNEES DISPONIBLES

Compte tenu de l'étude de l'existant du système d'information, le point de départ concerne l'étude des grilles A.G.G.I.R (Autonomie-Gérontologie-Groupe-Iso-Ressources) des résidents et l'évolution du degré d'autonomie/dépendance des résidents durant leur séjour. Qui plus est, il existe le modèle PATHOS ([http://www.fehap.fr/social/personnes\\_agees/DOC212a4.pdf](http://www.fehap.fr/social/personnes_agees/DOC212a4.pdf)) qui permet d'évaluer les niveaux de soins nécessaires pour la prise en charge des pathologies dans une population à un moment donné. A domicile ou en établissement, il décrit la situation clinique des personnes et mesure un certain nombre d'indicateurs, données utilisables au niveau d'un individu ou d'un

ensemble d'individus. Eu égard à la jeunesse de ce système d'information, pour l'instant, la taille des échantillons est trop faible pour une étude.

Donc, seules les données relatives à la grille A.G.G.I.R sont exploitables (taille correcte des échantillons). Mais la grille A.G.G.I.R. ne permet d'évaluer que l'expression de l'autonomie grâce à l'observation des activités effectuées par la personne âgée seule et définit en fonction de la perte d'autonomie des types de pertes d'autonomie et des groupes «iso-ressources» comportant des personnes ayant des besoins en soins de base significativement proches. Pour l'instant, il nous est impossible de trouver des variables explicatives relatives aux différents stades de pertes d'autonomie dues par exemple, aux poly-pathologies des résidents. Six groupes iso-ressources (noté GIR) permettent de classer les personnes de plus de 60 ans en fonction des différents stades de pertes d'autonomie. Le classement dans un GIR s'effectue en fonction des données recueillies par l'équipe médico-sociale à l'aide d'une grille appelée A.G.G.I.R. qui permet de pondérer différentes variables. La grille A.G.G.I.R. est présentée figure 1.

Pour chaque item cochez les cases (correspondant aux adverbes) quand la personne fait seule

1 Spontanément  
2 Habituellement  
3 Totalement  
4 Correctement

puis coder secondairement par A, B ou C selon le nombre d'adverbes cochés dans les cases 1 à 4

Autonomie corporelle et mentale					Autonomie domestique et sociale							
		1	2	3	4	Code		1	2	3	4	Code
5.1. Cohérence		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		6.1. Gestion	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5.2. Orientation		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		6.2. Cuisine	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5.3. Toilette	haut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		6.3. Ménage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	bas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		6.4. Transports	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5.4. Habillage	haut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		6.5. Achats	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	moyen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		6.6. Suivi traitement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	bas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		6.7. Alerter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5.5. Alimentation	se servir	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		A : fait spontanément, habituellement, totalement et correctement, tous les adverbes sont cochés B : une partie seulement des adverbes est coché C : ne fait pas, aucun adverbe n'est coché					
	manger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
5.6. Elimination	urinaire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> <b>Groupe iso-ressources</b> <input type="checkbox"/> </div> Calculé par le système informatique					
	fécale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
5.7. Transferts		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
5.8. Déplacement intérieur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
5.9. Déplacement extérieur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
5.10. Possibilités pour alerter		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							

Figure 1. La grille A.G.G.I.R

Cette grille A.G.G.I.R. est composée d'un ensemble de critères permettant de définir un score d'autonomie/dépendance du résident mais qui se base uniquement sur les huit premières variables (Cohérence, Orientation, Toilette, Habillage, Alimentation, Elimination, Transferts et Déplacement intérieur).

La question qui se pose est la suivante : Comment analyser le degré d'autonomie/handicap des personnes âgées et identifier leur évolution au cours du temps ?

## 3. CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Cette étude fait appel à plusieurs domaines qui vont de l'extraction de connaissance à partir de données, de l'optimisation à l'évaluation des performances. Nous présentons plus particulièrement dans cet article, les points relatifs à la classification par profil de résidents (obtenu en utilisant des outils de fouille de données de type arbre de décision) et l'étude de l'évolution des pro-

files au cours du temps (obtenu en utilisant l'inférence grammaticale). Les pôles grisés figure 2, du cadre méthodologique sont présentés dans cet article. Le détail de ce cadre méthodologique est présenté dans l'article (Combes, Rivat, 2007).

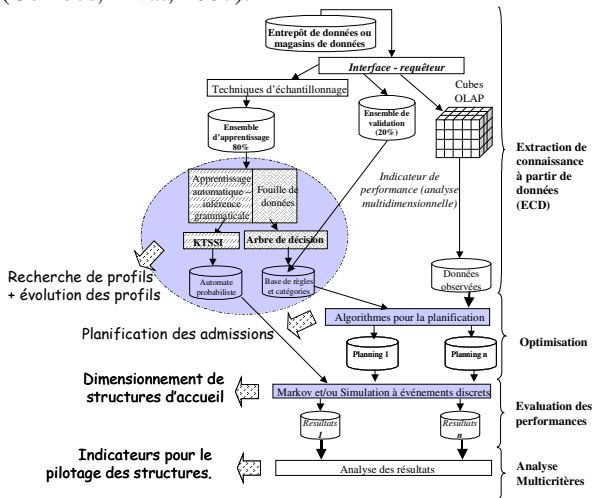


Figure 2. Cadre méthodologique

L'instanciation de ce cadre méthodologique à l'étude présentée dans cet article se décompose en trois étapes :

Étape 1 – la phase ECD qui se décompose en :

- La recherche de profils : l'analyse des données disponibles du système d'information permet grâce à la fouille de données, de déduire une classification en profils (paragraphe 5),
- L'étude de l'évolution des profils dans le temps en vue d'obtenir le graphe probabiliste de transition entre profils avec prise en compte des durées de séjours dans chacun des profils (paragraphe 6).

Ainsi, il est possible de déduire le modèle de Markov (paragraphe 7) afin de vérifier si le système atteint un état stationnaire.

Étape 2 – la phase d'optimisation qui permet de planifier les admissions sous certaines contraintes, puis de comparer les résultats obtenus avec le système observé et l'état stationnaire (paragraphe 8).

Étape 3 – la phase d'évaluation des performances qui permet de dimensionner les besoins des résidents, en soins de base par rapport au modèle de charge d'une part, du système observé et d'autre part, du modèle de planification. Nous étudions ainsi, les risques de dépassement en volume de soins (paragraphe 9) grâce à la simulation.

#### 4. ETAT DE L'ART

Très peu de travaux traitent d'une part de la modélisation et de l'évaluation des performances dans le domaine de la santé médico-sociale et d'autre part sur le couplage fouille de données – optimisation et évaluation des performances dans ce domaine. Par contre de très nombreuses études (liste non exhaustive) existent dans le domaine hospitalier (appelé courts séjours) (Guinet, Chaabane, 2003) (Jebali et al., 2006) (Shukla et al., 1990) (Dexter et al., 1999), de la logistique (Finiès et al., 2005), ou manufacturier (Kellerer, Strusevich, 2004). Mais

très peu d'articles abordent des thèmes de couplage optimisation-simulation, bien qu'il soit connu que les modèles d'optimisation imposent des hypothèses simplificatrices dans la majorité des cas très restrictives. Par conséquent, aucune mention n'est faite sur le taux d'erreur engendré par ces hypothèses. La simulation peut apporter des informations intéressantes sur les conséquences de ces hypothèses par rapport au fonctionnement du système réel.

Bien que le problème du vieillissement de la population soit connu depuis fort longtemps, les pouvoirs publics commencent juste à prévoir des plans comme le plan Alzheimer. Mais aucune étude sur les problèmes de la modélisation de l'handicap (personnes handicapées vieillissantes) et de la dépendance (personnes âgées dépendantes) et la planification en vue du dimensionnement de structures d'accueil n'est vraiment réalisée.

#### 5. IDENTIFICATION DES PROFILS

La Mutualité Française Loire souhaite dans un premier temps, avoir des modèles de classification très proches des modèles imposés par leur ministère et dans ce second temps, de les affiner si ces derniers semblent correct. L'objectif est donc de vérifier si la classification en GIR eu égard aux 8 variables retenues (Les 8 premières de la grille A.G.G.I.R.) est correcte car des anomalies ont été détectées (c.f. URL : <http://www.agevillagepro.com/article-5770-1-Evaluation---Aggir--Pathos--Rai.html> et <http://www.bevernage.com/geronto/aggir.htm>).

La variable de décision est le GIR et les variables explicatives sont les 8 premières variables de la grille A.G.G.I.R (c.f. figure 1). Les techniques dites prédictives sont les plus appropriées par rapport aux objectifs du projet. Divers outils sont proposés :

- Arbres de décision (très utilisés pour leur simplicité et leur lisibilité),
- Réseaux Bayésiens,
- Réseaux de Neurones,
- K plus proches voisins (proximité),
- Algorithmes génétiques.

L'ensemble des algorithmes a été testé. Pour des raisons de lisibilité et de simplicité d'interprétation, nous présentons dans ce paragraphe les résultats obtenus avec les arbres de décisions. La figure 3 fournit les résultats obtenus sur 1198 observations (données issues de la base de données TESYS).

428 des évaluations GIR 2 sur les 438 ont été bien classées. Uniquement 10 de mal classés. Donc un taux de classification correct de 97,72%.

Error rate		0,0342		Confusion matrix						
Values prediction		G2	G3	G1	G4	G5	G6	Sum		
Value	Recall	1-Precision	G2	G3	G1	G4	G5	G6	Sum	
G2	0,9772	0,0070	428	0	0	0	0	0	438	
G3	0,9222	0,0723	0	151	0	0	0	0	167	
G1	1,0000	0,0037	0	0	5	0	0	0	174	
G4	0,9138	0,0479	0	0	0	159	10	0	174	
G5	0,9663	0,1400	0	0	0	0	36	0	36	
G6	1,0000	0,0492	0	0	0	0	0	1	58	
			Sum	431	166	273	167	100	61	1198

Figure 3. Matrice de confusion

Nous constatons que nous avons un taux d'erreur très faible (autour de 3%). Uniquement 41 évaluations sur les 1198 ont été mal classées. Nous pouvons donc considérer cette classification comme correcte.

Les arbres de décision permettent également de déduire les règles sur lesquelles sont basées les classifications proposées. Ces règles permettent d'identifier les variables dominantes classificatrices dans les différents GIR. Un extrait de ces règles est présenté figure 4. Les règles se lisent de la manière suivante.

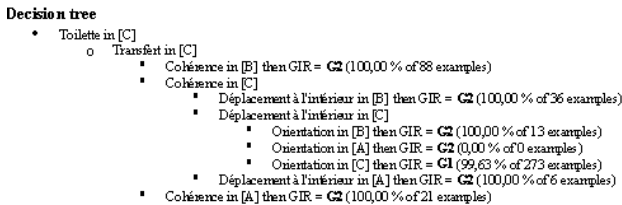


Figure 4. Un extrait des règles déduites

Si les variables *Toilette* et *Transfert* sont évaluées *C* et la variable *Cohérence* est évaluée *A* ou *B* alors le patient sera de GIR2 (100% des cas observés répondent à cette règle). Par contre si la *Cohérence* est évaluée *C* alors il est nécessaire d'avoir d'autres variables. Les variables retenues sont *Déplacement Intérieur* et *Orientation*.

A partir de ces règles, au sein de chacun des GIR, des sous-classes ont été identifiées en relation avec la charge de travail engendrée. Ce travail ne sera pas présenté dans cet article. Il a permis d'affiner les modèles de typologies des profils des résidants.

## 6. EVOLUTION DES PROFILS DANS LE TEMPS

Après avoir validé le classement des résidants (choix du profil retenu présenté dans cet article : le GIR), l'étape suivante consiste en l'identification des graphes probabilistes et temporels de l'évolution du degré d'autonomie/handicap.

Nous souhaitons obtenir un graphe de transitions entre états (trajectoire des GIR) avec les durées de séjour dans un état et les probabilités de changement d'états.

Cette recherche de séquences et leur probabilité associée réside dans l'inférence d'automates probabilistes. Mais les automates probabilistes inférés ne prennent pas en compte la notion de temporisation dans un état. Nous avons donc adapté les travaux en inférence grammaticale. L'algorithme retenu est KTSSI (inférence de *k*-testable au sens strict) (Garcia,Vidal, 1990). L'appellation *k*-testable provient du fait qu'il suffit d'analyser les chaînes avec une fenêtre de longueur *k*. Cette inférence est faite sans exemple négatif. De plus, un automate inféré par l'algorithme KTSSI est par construction, non ambigu. Qui plus est, ce choix se justifie par le fait que les *k*-testables (*k*>1) permettent de prendre en compte un effet mémoire (i.e. N-gram). En effet, nous avons observé lors de l'analyse des données, que l'état d'évolution du degré d'autonomie-handicap dépendent fortement des états précédents du résidant et surtout des états pathologiques du résidant (surtout pour les maladies chroniques et invalidantes telles que les maladies

ostéoarticulaires dégénératives, des syndromes anxio-dépressifs, des troubles du comportement ...). Compte tenu de la taille des automates obtenus, nous ne présentons dans cet article que les résultats obtenus sur les 1-Testables (l'état suivant ne dépend que de l'état précédent).

### 6.1 Définitions et notations

Soit  $\Sigma$  un alphabet fini et des symboles *a,b,c* représentant des éléments de  $\Sigma$ . Dans notre exemple, nous avons :

- $\Sigma$  : un alphabet fini de 7 symboles -  $\{a,b,c,d,e,f,g\}$ . Les six premiers symboles représentent les changements de GIR et le septième représente soit la sortie du système, soit la dernière évaluation des résidants encore présents à la date de l'extraction des données.
- $\Sigma^*$  : des chaînes de longueur quelconque construites sur  $\Sigma$ .
- $L$  : un sous-ensemble de  $\Sigma^*$  (ensemble des mots observés correspondant aux séquences d'enchaînement des différentes évaluations pour chacun des résidants).
- $Q$  : un ensemble fini d'états – (8 états avec  $q_0$  = état initial et  $q_7$  = état final et  $q_1...q_6$  les 6 états correspondant au GIR).
- $\delta$  : une fonction de transition entre états :  

$$Q \times \Sigma \rightarrow Q.$$

Un automate fini est un quintuple  $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$  tel que  $F \subseteq Q$ .

Pour tout *q* de  $Q$  et tout *a* de  $\Sigma$ , à  $\delta(q,a)$  correspond un unique état de  $Q$ , dans ce cas, l'automate est dit déterministe (AFD : Automate Fini Déterministe).

### 6.2 L'algorithme KTSSI

Dans ce paragraphe nous présentons l'algorithme KTSSI. Soit  $I_+$  un échantillon positif (dans notre cas, l'échantillon observé) du langage régulier *L*.

**Entrée**  $k$  //L'ordre du modèle  
 $I_+ = \{x_1, \dots, x_{|I_+}| \}$  //L'échantillon observé

**Sortie**  $A_k = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$

**Début**  
 $Q \leftarrow q_0$   
 $\Sigma \leftarrow \emptyset$   
 $\delta \leftarrow \emptyset$   
 $q_0 \leftarrow \lambda$  //  $\lambda$  est la chaîne vide  
 $F \leftarrow \emptyset$

**Pour**  $i=1$  **jusqu'à**  $|I_+|$  // sur l'ensemble de l'échantillon  
 $q' \leftarrow q_0$   
**Pour**  $j=1$  **jusqu'à**  $|x_i|$  //pour chaque mot (séquence)  
 $\Sigma \leftarrow \Sigma \cup x_{ij}$   
 $y \leftarrow q' x_{ij}$   
**Si**  $|y| > k$  **alors**  
 $y \leftarrow y_{2...y|y|}$   
**FinSi**  
 $q \leftarrow y$   
 $Q \leftarrow Q \cup \{q\}$   
 $\delta \leftarrow \delta \cup \{q', x_{ij}, q\}$

Si  $j = |x_i|$  alors  
 $F \leftarrow F \cup \{q\}$   
**FinSi**  
 $q' \leftarrow q$

**FinPour**

**FinPour**

**Retourner**  $A_k$

**Fin K-TSSI**

### 6.3 Prise en compte de la temporalité sur les états

Les  $k$ -testables ne prennent pas en compte la notion de temporisation sur les états. Or il est indispensable de modéliser la durée de séjour dans un GIR (car à un état correspond un GIR donné).

Pour prendre en compte cette temporisation, nous avons choisi de discrétiser la durée de séjour dans un état, le pas étant le même pour tous les états.

Par conséquent, notre automate est un sextuple  $(Q, \Sigma, \delta, q_0, F, d)$  où  $d \in \mathbf{N}$  et il correspond à la durée de temporisation dans les états.

### 6.4 L'automate obtenu

La figure 4 décrit l'AFD obtenu. Pour des raisons de lisibilité de la figure, les probabilités de transition entre états sont données au tableau 1.

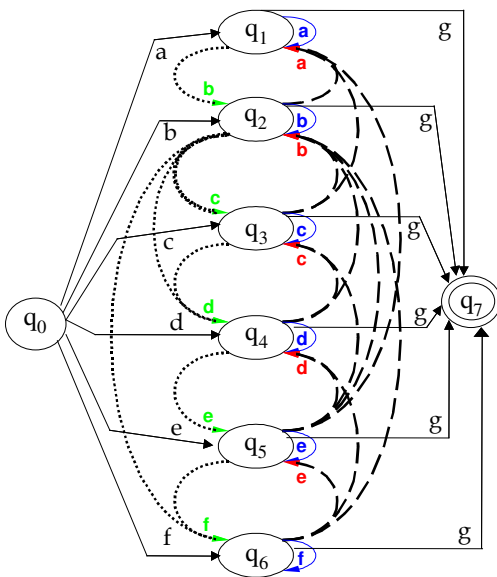


Figure 4. Automate obtenu avec l'algorithme KTSSI

Vers $\Rightarrow$ De $\Downarrow$	q <sub>0</sub>	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	q <sub>4</sub>	q <sub>5</sub>	q <sub>6</sub>	q <sub>7</sub>
q <sub>0</sub>	0	0,147	0,357	0,126	0,189	0,098	0,084	0
q <sub>1</sub>	0	0,923	0,007	0	0	0	0	0,070
q <sub>2</sub>	0	0,027	0,934	0,001	0,002	0	0,001	0,035
q <sub>3</sub>	0	0,002	0,029	0,919	0,009	0	0	0,041
q <sub>4</sub>	0	0	0,010	0,029	0,916	0,008	0	0,035
q <sub>5</sub>	0	0,004	0,008	0,012	0,024	0,914	0,004	0,035
q <sub>6</sub>	0	0	0,004	0	0,004	0,016	0,944	0,032
q <sub>7</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 1. Matrice de probabilité de transition entre états de l'automate présenté figure 4

En fait,  $q_0$  ne modélise pas la toute première évaluation des résidants car le système d'information a été mise en place en 2002, mais des résidants étaient présents dans la structure depuis un certain temps. Le dernier état  $q_7$  ne représente pas uniquement la sortie du système, mais également la dernière évaluation des résidants encore présents à la date de l'extraction des données.

## 7. MODÈLE DE MARKOV

L'avantage majeur de l'algorithme KTSSI est qu'il permet d'inférer un automate probabiliste. Au travers de ce paragraphe, nous présentons comment à partir de cet automate, nous déduisons le modèle markovien correspondant. Ce modèle markovien va permettre d'identifier si le système admet un état stationnaire. Par définition, un vecteur propre  $x$  est associé à la valeur propre  $l$ , si :

$$A * x = l * x$$

Qui plus est, si nous identifions une seule valeur propre à 1, alors la distribution est dite stationnaire pour la matrice de Markov qui est irréductible et apériodique. Ceci signifie que le choix des GIR en entrée dans le système relativement aux évolutions des GIR des résidants et des sortants permet de rester à charge de travail relativement stable.

### 7.1 Le modèle obtenu à partir des $k$ -testables

L'automate probabiliste obtenu en utilisant l'algorithme des  $k$ -testables est pris en compte pour l'élaboration du modèle markovien.

Dans une première étape, nous avons estimé à partir des données, les probabilités :

- $Pe_i$  : Probabilité d'entrée dans le système en étant dans un GIR  $i$  ( $i=1..6$ ),
- $Ps_i$  : Probabilité de sortir du système (c à d de quitter la structure d'accueil) en étant dans un GIR  $i$  ( $i=1..6$ ) au bout de 30 jours.

La probabilité de sortir du système a été estimée par rapport au pas de discrétisation des durées (30 jours pour l'exemple présenté). En remplacement des sortants, nous avons identifié le GIR du résidant entrant pour obtenir  $Pe_i$ .

Deux autres probabilités ont été prises en compte : PES et PEE qui signalent juste que dès qu'il y a une sortie dans le système, alors il y a une nouvelle entrée permettant de modéliser ainsi que nous travaillons à flux constant. La matrice obtenue est décrite au tableau 2.

Le vecteur propre de la matrice correspondant à la valeur propre 1 a été calculé. Dans notre cas, nous avons identifié une seule valeur propre à 1. Le vecteur propre associé est le suivant :

**(0.0201 - 0.2659 - 0.3028 - 0.1198 - 0.1362 - 0.0645 - 0.0706 - 0.0201)**

Ce vecteur propre s'interprète de la manière suivante. Le système évolue vers un état où :

- 2,01% d'entrée-sortie (turn-over),
- 27,70% des résidants seront en GIR1,
- 31,55% en GIR2,
- 12,48% en GIR3,
- 14,19% en GIR4,

- 6,72% en GIR5,
- 7,36% en GIR6.

Vers ⇨ De ⇩	PEE	GIR1	GIR2	GIR3	GIR4	GIR5	GIR6	Psi
Pe <sub>i</sub>	0	0,101	0,354	0,114	0,228	0,089	0,114	0
GIR1	0	0,959	0,007	0	0	0	0	0,034
GIR2	0	0,027	0,951	0,001	0,002	0	0,001	0,018
GIR3	0	0,002	0,029	0,940	0,009	0	0	0,020
GIR4	0	0	0,01	0,029	0,943	0,008	0	0,010
GIR5	0	0,004	0,008	0,012	0,024	0,936	0,004	0,012
GIR6	0	0	0,004	0	0,004	0,016	0,960	0,016
PES	1	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 2. La matrice de Markov obtenue

Comparons les résultats obtenus avec l'état du système fin décembre 2006 (tableau 3). La colonne grisée fournit le nombre de résidents à l'état stationnaire pour une résidence donnée. Bien que la matrice de Markov signale un état stationnaire, nous constatons par rapport au système réel observé, des écarts non négligeables en particulier pour les GIR 1 et 2.

GIR	Pourcentage des résidents par GIR fin 2006	Nombre de patients par GIR fin 2006	A l'état stationnaire
1	32,91%	26	22
2	27,85%	22	25
3	11,39%	9	10
4	15,19%	12	11
5	7,59%	6	5
6	5,06%	4	6

Tableau 3: Évaluation de la charge de travail à l'état stationnaire

## 7.2 Etude de l'impact du choix des profils en remplacement des sortants

L'objectif est d'étudier l'état stationnaire (grâce au modèle markovien) pour différentes stratégies de remplacement des sortants. Les variables seront donc les  $Pe_i$  : Probabilité d'entrée dans le système en étant dans un GIR  $i$  ( $i=1..6$ ).

Quel serait l'état stationnaire pour les scénarios suivants ? Nous augmentons sensiblement le pourcentage de résidents en GIR1 pour faire face à la demande sur listes d'attente.

**Scénario 1** : les admissions s'effectuent avec les proportions suivantes (observations sur 2005-2006 – base de données TESYS) :

- 10,1% en GIR1
- 35,4 % en GIR2
- 11,4 % en GIR3
- 22,8 % en GIR4
- 8,9 % en GIR 5
- 11,4% en GIR6

**Scénario 2** : les admissions s'effectuent avec les proportions suivantes :

- 12% en GIR1
- 33 % en GIR2
- 15 % en GIR3
- 20 % en GIR4
- 12 % en GIR 5
- 8 % en GIR6

**Scénario 3** : les admissions s'effectuent avec les proportions suivantes :

- 15% en GIR1
- 30 % en GIR2
- 15 % en GIR3
- 20 % en GIR4
- 12 % en GIR 5
- 8 % en GIR6

**Scénario 4** : équi-répartition dans les GIR :

- 16,67 % en GIR1
- 16,67 % en GIR2
- 16,67 % en GIR3
- 16,67 % en GIR4
- 16,67 en GIR 5
- 16,67 en GIR6

Le tableau 4 décrit les résultats obtenus. Dans le premier tableau figurent les vecteurs propres pour la valeur propre 1 de la matrice de Markov. Dans le deuxième tableau, le nombre de résidents est calculé avec le réajustement des pourcentages (prise en compte des 2% d'entrants). La capacité d'accueil de cette structure est de 79 lits.

Nous constatons que la probabilité de remplacement des sortants ( $Pe_i$ ), n'influe quasiment pas sur la répartition des GIR à l'état stationnaire.

Ayant à présent une idée sur le comportement du système, il devient fort intéressant d'étudier la répartition de ces patients dans les différentes unités de soins.

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
Sorties	2,01%	2,03%	2,04%	1,98%
GIR 1	26,59%	27,49%	28,36%	25,93%
GIR 2	30,28%	29,99%	28,98%	24,03%
GIR 3	11,98%	13,02%	13,06%	13,84 %
GIR 4	13,62%	12,99%	13,03%	12,96%
GIR 5	6,45%	7,00%	7,03%	9,49%
GIR 6	7,06%	5,44%	5,45%	9,78%
Entrées	2,01%	2,03%	2,04%	1,98%

Répartition par GIR	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
GIR 1	22	22	23	21
GIR 2	25	25	24	20
GIR 3	10	11	11	11
GIR 4	11	11	11	11
GIR 5	5	6	6	8
GIR 6	6	4	4	8

Tableau 4. Proportion par GIR à l'état stationnaire pour les différents scénarii

## 8. MODÈLE D'OPTIMISATION

### 8.1 Descriptif du système

Deux systèmes d'information (noté SI) existent :

- A.G.G.I.R. qui décrit uniquement la perte d'autonomie et ne mesure que le niveau de soins de base nécessaires à la prise en charge de cette perte d'autonomie en actes para-médicaux réalisés par les aides-soignants,
- PATHOS qui permet d'identifier les actes médicaux et les poly-pathologies.

Pour l'instant, seul le SI A.G.G.I.R. (opérationnel depuis plus de cinq ans) est utilisé car la taille des échantillons est correct (1198 observations). Par contre le SI PATHOS (mis en place il y a seulement 18 mois) n'est pas pris en compte pour l'instant car la taille des échantillons est trop faible. Par conséquent, le modèle proposé est simple et ne permet de prendre en compte que la répartition des patients selon les GIR et les soins de base requis (aide aux actes essentiels de la vie et soins d'hygiène et de confort). L'indicateur permettant l'affectation des ressources (réalisant les soins de base) et les dotations est le GIR Moyen Pondéré (noté GMP). Le principe du calcul du GIR Moyen Pondéré (GMP) est le suivant :

$$GMP = \left[ \sum_{i=1}^6 CoeffGMP_{GIRi} * Effect_{GIRi} * 1000 \right] / EffectifTaal \quad (1)$$

Pour l'exemple présenté tableau 5, le GMP correspond à  $[(26*1) + (22*0,84) + (9*0,66) + (12*0,42) + (6*0,25) + (4*0,07)] * 1000/79 = 724,557$ .

	<i>Effect<sub>GIRi</sub></i>	<i>CoefGMP<sub>GIRi</sub></i>
GIR1	26	1,00
GIR2	22	0,84
GIR3	9	0,66
GIR4	12	0,42
GIR5	6	0,25
GIR6	4	0,07

Tableau 5. Données pour un exemple de calcul du GMP

Le GMP sera donc la fonction objectif qui est ensuite déclinée en volume d'activité. L'estimation de la durée journalière de soins de base est fonction du GIR du résident par un coefficient de pondération relatif à chaque groupe iso-ressources (le GIR 1 imposant 3h30 soit 210 minutes). Le tableau 6 donne la répartition des temps journaliers en soins de base par jour et par résident.

	Temps en soins de base (en minutes)
GIR1	210
GIR2	176
GIR3	139
GIR4	88
GIR5	53
GIR6	15

Tableau 6. Temps journaliers par résident en soins de base

Suite aux avis des experts, la charge du système observée fin décembre 2006 est le seuil critique à ne pas dé-

passer. Par conséquent, nous disposons d'un pool en personnel pouvant réaliser au maximum 200 heures de soins de base par jour.

Pour l'instant, notre jeu d'essai concerne qu'une seule des résidences gérées par la Mutualité Française Loire.

Cet établissement possède 79 lits répartis en trois unités :

- U1 - le nombre maximum de personnes psycho-dépendantes est de 12,
- U2 - Soins Spécifiques de capacité 21,
- U3 - Hébergement traditionnel composé de 46 lits.

L'objectif de ce modèle est d'identifier la répartition des résidents par GIR dans chacune des unités et d'identifier le GMP maximal pouvant être atteint en tenant compte des ressources humaines disponibles pour les soins de base.

La fonction objectif dans cet exemple est donc le score GMP défini ci-dessus (1).

La catégorie du résident correspond donc au GIR.

### 8.2 Le modèle mathématique

*j* : indices repérant les unités disponibles dans la structure,  $j = 1.. \alpha$

*i* : indice repérant la catégorie de résidents,  $i = 1.. \beta$

$\alpha$  : nombre d'unités dans la structure (dans notre exemple 3 : U<sub>1</sub> – unité de personnes psycho-dépendantes, U<sub>2</sub> – unité de soins spécifiques, U<sub>3</sub> – hébergement traditionnel).

$\beta$  : nombre de catégories de résidents (Les GIR dans cet exemple, 6 au maximum).

*U<sub>ji</sub>* : effectifs maximums par catégorie et par unité (U<sub>1</sub> dotée de 12 lits, U<sub>2</sub> de capacité 21 lits et U<sub>3</sub> composée de 46 lits).

*n<sub>ji</sub>* : effectifs par catégorie et par unité.

*N* : capacité totale de la structure en nombre de lits (12+21+46 = 79).

*Min<sub>i</sub>* : effectifs minimums par catégorie acceptés dans l'ensemble de la structure (donc toutes unités confondues).

*Max<sub>i</sub>* : effectifs maximums par catégorie acceptés dans l'ensemble de la structure (donc toutes unités confondues).

*Coef<sub>i</sub>* : coefficients par catégorie intervenant dans le calcul du GMP (GIR Moyen Pondéré).

*NbHMax<sub>j</sub>* : temps journalier maximum représentant le volume de soins de base par unité de la structure

*d* : durée journalière de soins de base. 210 minutes pour la catégorie 1. Les autres durées peuvent être obtenues par la formule :  $Coef_i * d$

*y* : valeur GMP telle que :

$$MAX(y) = Max \left[ \frac{1000}{N} \times \sum_{j=1}^{\alpha} \sum_{i=1}^{\beta} n_{ji} \times Coef_i \right]$$

Les variables sont les *n<sub>ji</sub>*

s.t.

*n<sub>ji</sub>* sont des entiers positifs

$$\forall i \in [1, \beta]$$

$$\sum_{j=1}^{\alpha} n_{ji} \geq \text{Min}_i$$

La somme des effectifs par GIR toutes unités confondues doit être supérieure ou égale au nombre minimum de patients devant être accueillis dans chaque GIR.

$$\forall i \in [1, \beta]$$

$$\sum_{j=1}^{\alpha} n_{ji} \leq \text{Max}_i$$

La somme des effectifs par GIR toutes unités confondues doit être inférieure ou égale au nombre maximum de patients dans les différents GIR pouvant être pris en charge en toute sécurité par la structure.

$$\sum_{j=1}^{\alpha} \sum_{i=1}^{\beta} n_{ji} = N$$

L'effectif total des résidents accueillis doit être égal à la capacité totale de la structure. Aucun lit ne doit être vacant.

$$\forall j \in [1, \alpha]$$

$$d \times \sum_{i=1}^{\beta} n_{ji} \times \text{Coef}_i \leq \text{NbHMax}_j$$

Le total des durées journalières de soins de l'ensemble des résidents d'une unité donnée ne doit pas excéder la capacité en ressources humaines pour réaliser ces soins.

### 8.3 Les résultats obtenus

Les données du problème résolu sont décrites dans le tableau 7 et les résultats obtenus grâce au solveur d'Excel (temps de calcul inférieur à deux minutes) sont fournis au tableau 8. Les paramètres du tableau 8 peuvent être modifiés dans le modèle et de nouvelles contraintes peuvent également être prises. Ce prototype n'est qu'une illustration de l'apport de la planification dans des structures médico-sociales.

Catégories patients ( $\beta=6$ )	Coef <sub>i</sub>
GIR1	1
GIR2	0,84
GIR3	0,66
GIR4	0,42
GIR5	0,25
GIR6	0,07

	$\alpha = 3$		
$U_{ji}$ : effectifs maximums par catégorie et par unité	U1	U2	U3
GIR1	12	21	46
GIR2			
GIR3			
GIR4	0		
GIR5	0	0	
GIR6	0	0	

	GIR1	GIR2	GIR3	GIR4	GIR5	GIR6
Min <sub>i</sub>	15	20	8	8	6	4
Max <sub>i</sub>	30	30	30	30	30	30

N	79
d : Temps soins de base référentiel (en minutes)	210

NbHMax <sub>j</sub>	En heures
U1	35
U2	50
U3	115
Total	200

Tableau 7. Les paramètres du modèle

Nombre de résidents/GIR dans les différentes unités	U1	U2	U3	Total	Volume soins journaliers (en minutes)
GIR1	4	3	18	25	5250,00
GIR2	4	6	13	23	4057,20
GIR3	4	5	2	11	1524,60
GIR4	0	7	1	8	705,60
GIR5	0	0	7	7	367,50
GIR6	0	0	5	5	73,50
Total	12	21	46	79	11978,40
GMP atteint	<b>722,03</b>				

Tableau 8. Répartition des résidents dans la structure

La comparaison entre l'état du système observé (correspondant à la répartition par GIR des résidents présents fin décembre 2006 pour la résidence Le Soleil) et le résultat obtenu du modèle de planification optimisant le GMP pour un volume total journalier de soins de base de 200 heures est fourni au tableau 9.

	Total modèle de planification	A l'état stationnaire	Effectifs au 31/12/2006
GIR1	25	22	26
GIR2	23	25	22
GIR3	11	10	9
GIR4	8	11	12
GIR5	7	5	6
GIR6	5	6	4
Volume Soins (en minutes)	11978,4	11615,1	12020,4

Tableau 9. Répartition des résidents par GIR (relativement au modèle de planification et le système observé fin décembre 2006)

Par rapport à l'état stationnaire, nous avons un écart entre les volumes de soins en moyenne de 6 heures en sus par jour. L'explication réside dans le fait que chaque résident demeure un cas particulier et son évolution du degré d'autonomie-handicap est liée aux poly-pathologies déclarées. Par conséquent, pour avoir une vision plus exacte du phénomène, il est conseillé d'élaborer un modèle de simulation afin d'identifier le risque de déplacement en volume journalier de soins.

## 9. SIMULATION

Nous savons grâce au modèle de Markov que le système doit atteindre un état stationnaire. Par contre nous constatons que la charge actuelle en volume de soins de base de l'établissement est supérieure de 6 heures par jour par rapport à l'état stationnaire. Il serait donc intéressant de voir d'une part, quel est le risque de dépassement du volume journalier en soins de base et d'autre part, au

bout de combien de temps nous allons atteindre cet état stationnaire pour les deux modèles de charge (respectivement M1 : l'état du système au 31 décembre 2006 et M2 : la solution du modèle de planification). Le langage de simulation utilisé est MODLINE/QNAP2 (Simulog, 1995). Mille cinq cent simulations statistiquement indépendantes ont été réalisées pour chaque modèle de charge.

Le tableau 10 fournit quelques chiffres relatifs aux valeurs minimum et maximum du volume de soins de base, ainsi que la moyenne et l'écart type.

Volume journalier soins		6 mois	1 an	2 ans	3 ans	4 ans
Min	M1	10420,00	10260,00	10120,00	10000,00	9967,00
	M2	10840,00	10360,00	10280,00	9860,00	9614,00
Max	M1	13060,00	13190,00	13200,00	13610,00	13540,00
	M2	13010,00	13180,00	13600,00	13240,00	13770,00
Moyenne	M1	11960,50	11914,20	11830,30	11747,20	11703,30
	M2	11928,40	11882,90	11785,60	11727,50	11692,70
Ecart type	M1	337,89	424,46	480,57	515,94	525,93
	M2	339,89	423,42	486,99	507,94	529,23

Tableau 10. Quelques chiffres sur le volume/jour en soins de base

Le tableau 11 présente le pourcentage relatif aux dépassements horaires en volume de soins. Nous constatons que dans un cas sur deux, nous risquons au bout de six mois (avec le modèle de charge de M1) d'avoir un dépassement en volume de soins de base journalier de une à douze heures, mais avec uniquement 8,6% que ce dépassement soit de sept à plus de douze heures.

Or, le problème observé est difficile à gérer car aucun budget ne permet de prendre en compte un tel dépassement. Par contre, si nous prenons moins de résidents en GIR1 et GIR2 en les remplaçant par des GIR 3 et des GIR4, alors le score GMP diminue trop et nous perdons en dotation en personnel.

Volume journalier en soins de base en %		6 mois	1 an	2 ans	3 ans	4 ans
P[X<= 200h]	M1	48,86	54,79	62,04	65,88	67,62
	M2	53,14	57,32	64,85	67,97	69,35
P[200<X<= 206h]	M1	42,56	31,77	24,92	23,90	23,81
	M2	39,34	30,82	23,12	22,08	21,65
P[206<X<= 212h]	M1	7,97	11,91	10,71	8,14	7,27
	M2	7,01	10,56	10,48	8,30	7,45
P[X>212h]	M1	0,61	1,53	2,33	2,08	1,30
	M2	0,51	1,30	1,55	1,65	1,55

Tableau 11. Risque de dépassement du volume en soins de base

Par contre, nous constatons qu'au bout de 4 ans, nous nous rapprochons de l'état stationnaire, avec un GMP moyen de 705 points avec un écart type de 31,7 (avec un minimum à et un maximum à 816), avec une probabilité de 7% que le GMP soit supérieur à 750 points.

Le modèle relatif à l'état stationnaire a été également simulé. Nous avons comparé les résultats obtenus par rapport aux modèles de charge M1 (état du système fin

décembre 2006) et M2 (modèle de charge planifié). La figure 5 présente les résultats obtenu au bout de 6 mois.

Au bout de quatre ans, nous constatons que le modèle charge proposé en planification se rapproche de l'état stationnaire (c.f. figure 6). Il en est de même pour le modèle de charge du système observé fin décembre 2006.

## 10. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objectif du projet est d'identifier et par la suite de prédire les évolutions des GIR des résidents afin de planifier les activités et les ressources nécessaires (tant humaines, matérielles, que financières). Cet article montre l'apport de l'apprentissage automatique et de la fouille de données couplés à l'optimisation et simulation pour la planification des admissions dans les établissements d'hébergement des personnes âgées dépendantes. La fouille de données et l'apprentissage automatique permettent d'identifier des profils de résidents et d'étudier l'évolution des profils dans le temps. Nous obtenons ainsi un modèle de Markov qui permet d'identifier si le système atteint un état stationnaire. Nous pouvons également tester différents scénarios d'admissions par profil de résidents. De cette étude, nous pouvons déduire un modèle de planification des admissions. Ce modèle est validé par rapport à l'état stationnaire. Pour un modèle de charge planifié, le modèle de Markov permet de simuler au bout de quelle durée, nous atteindrons l'état stationnaire, permettant ainsi de prévoir le nombre d'heures complémentaires nécessaires pour pallier les soins de base par exemple.

Dans l'attente d'obtenir les observations relatives au modèle PATHOS, nous affinerons le modèle d'optimisation et simulerons différents scénarios de gestion et de pilotage. Nous rappelons que le modèle PATHOS permet d'évaluer le niveau de soins nécessaires à la prise en charge des poly-pathologies en gériatrie. Le Pathos Moyen Pondéré (PMP) est un indicateur global de charge en soins pour la prise en charge des poly-pathologies, exprimé en points. Il est égal à la somme pondérée des niveaux de soins dans les 8 postes de ressources qui ont été pris en compte dans la fonction «*coûts globaux* » par profil de résidents et par activité (que nous avons proposée et qui est en cours de validation par la Direction de La Mutualité Française Loire). Pour chacun des 8 postes de soins, les besoins en soins ont été exprimés dans des unités en temps minutes/jour et peuvent donc se ramener à un coût. L'utilisation conjointe du modèle A.G.G.I.R. et du modèle PATHOS permettra donc d'évaluer le niveau de l'ensemble des moyens requis pour une bonne prise en charge des personnes âgées par les différents acteurs de santé. Qui plus est, grâce aux données sur le vieillissement de la population (pyramide des âges couplée aux listes d'attentes des structures d'accueil), le dimensionnement des besoins en structure d'accueil dans les années à venir sera réalisée en utilisant la démarche proposée dans cet article.

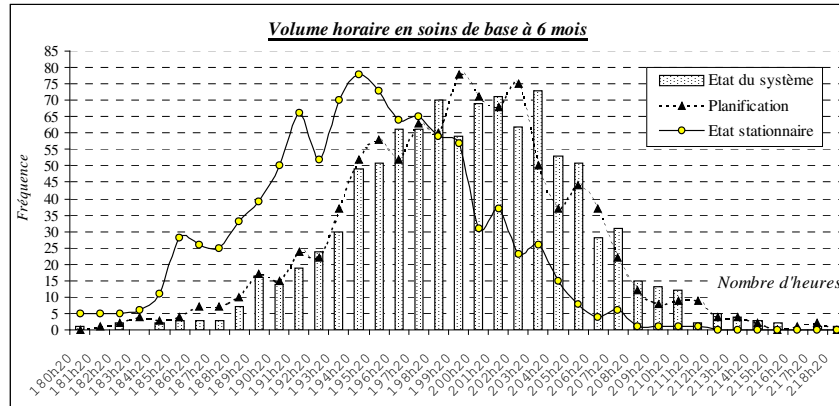


Figure 5. Répartition des volumes journaliers en soins de base au bout de 6 mois

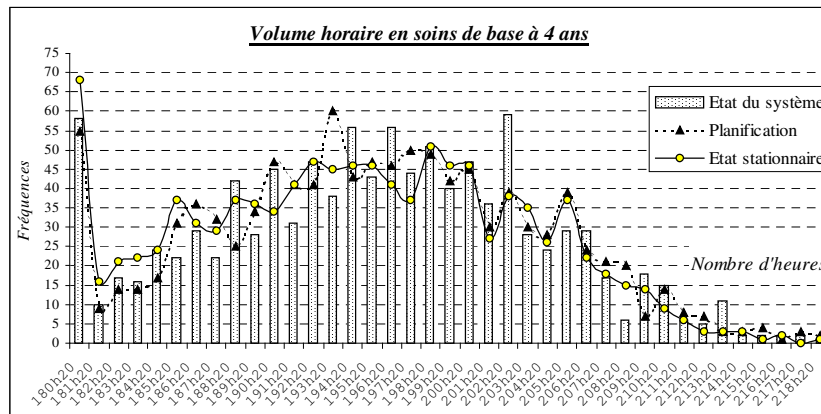


Figure 6. Répartition des volumes journaliers en soins de base au bout de 4 ans

**Remerciements** : Nous remercions chaleureusement MM. F. Navarro (Président Régional du conseil d'administration de la Mutualité Française - Rhône-Alpes), R. Michel (Directeur Général de la Mutualité Française Loire), Mme Montuy-Coquard (Directrice des longs et moyens séjours) ainsi que tout le personnel qui ont eu l'amabilité de nous confier ce projet, des données pour valider nos modèles et qui ont répondu à nos nombreuses questions.

## 11. REFERENCES

- Combes C., Rivat. C., 2007. A modelling environment based on data warehousing to manage and to optimize the running of international company, *International Journal of Production Economics (IJPE)*, doi:10.1016/j.ijpe.2006.12.065.
- Comelli, M., P.Féniès, M. Gourgand and N. Tchernev, 2005, *A generic evaluation model of logistic process for cash flow and activity based costing for a company supply chain*, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management IESM 2005, May 16 – 19, Marrakech (Morocco). ISBN 2-9600532-0-6. 113-122 (CD-ROM).
- Dexter F., Macario A. and Traub R-D. ,1999. Which algorithm for scheduling add-on elective cases maximizes operating room utilization? *Anesthesiology*, **91**(5), 1491-1500.
- Garcia P., Vidal E., 1990, Inference of *k*-testable languages in the strict sense and applications to syntactic pattern recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12 (9), Pages 920-925.
- Guinet A., S. Chaabane, 2003. Operating theatre planning, *International Journal of Production Economics (IJPE)*, Volume 85, Pages 69–81.
- Jebali A., A.Alouane, P. Ladet, 2006. Operating rooms scheduling, *International Journal of Production Economics (IJPE)*, Volume 99, Issues 1-2, January-February, Pages 52-62.
- Kellerer H., Strusevich V., 2004. Scheduling problems for parallel dedicated machines under multiple resource constraints. *Discrete Applied Mathematics*, 133, 45-68.
- Shukla R. K., J.S. Ketcham, Y.A. Ozcan, 1990. Comparison of subjective versus data base approaches for improving efficiency of operating room scheduling. *Health Services Management Research*, 3, 74-81.
- SIMULOG. *MODLINE/QNAP2 User Guide*. SIMULOG, 1 rue Joules, Saint-Quentin en Yvelines, France 1995.