



HAL
open science

Vers une prise en charge personnalisée à domicile

Rym Ben Bachouch, Selma Arbaoui, Elyes Lamine

► **To cite this version:**

Rym Ben Bachouch, Selma Arbaoui, Elyes Lamine. Vers une prise en charge personnalisée à domicile. MOSIM'16 - 11ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Laboratoires Numerix; C2SP, Aug 2016, Montréal, Canada. 9 p. <hal-02534673>

HAL Id: hal-02534673

<https://hal.science/hal-02534673v1>

Submitted on 7 Apr 2020

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.



HAL Authorization

VERS UNE PRISE EN CHARGE PERSONNALISEE A DOMICILE

Rym BEN BACHOUCH, Selma ARBAOUI

Université Orléans, INSA-CVL, PRISME, EA 4229,
F45072, Orléans, France
rym.ben-bachouch@univ-orleans.fr,
selma.arbaoui@univ-orleans.fr

Elyes LAMINE

Université de Toulouse, Mines-Albi, CGI, Campus
Jarlard, 81013 Albi Cedex 09, France
elyes.lamine@mines-albi.fr

RESUME : L'accroissement de l'espérance de vie et le vieillissement de la population entraînent une augmentation de la demande en soins à domicile. Dans cet article, nous proposons le concept de *l'HAD (l'Hospitalisation A Domicile) supervisée pour une planification personnalisée*. Il s'agit d'une prise en charge dans un domicile équipé d'un système de supervision. Les données issues de ces capteurs sont traitées afin d'identifier les habitudes de vie des personnes. Le service d'HAD pourra ainsi personnaliser chaque prise en charge aux habitudes de vie du patient. Nous proposons un cadre de modélisation qui prend en compte deux systèmes d'aide à la décision : (i) le premier est associé au domicile supervisé pour identifier les habitudes de vie et (ii) le deuxième permet de calculer le planning des visites chez les patients en prenant en compte outre les contraintes relatives à la structure d'HAD et au projet thérapeutique, les habitudes de vie des patients. Nous proposons ensuite un modèle mathématique qui illustre la planification personnalisée des visites et qui est basée sur le problème de tournée des véhicules avec plusieurs fenêtres de temps (VRPMTW) et nous le résolvons en utilisant une méthode exacte afin de montrer la faisabilité de la modélisation proposée.

MOTS-CLES : *hospitalisation à domicile, modélisation mathématique, planification, tournée de véhicule, fenêtres de temps.*

1 INTRODUCTION

Le vieillissement de la population a engendré une augmentation du nombre de personnes atteintes de maladies chroniques. Pour des raisons de confort personnel, ces personnes souhaitent une prise en charge qui les soustrait le moins possible à leur environnement familial. C'est pour ces raisons que l'HAD (l'Hospitalisation A Domicile) a connu une évolution importante et rapide ces dernières années. Le mode de fonctionnement et l'organisation de ces structures reste toutefois mal défini en raison de la diversité des statuts (public, privé...) et des tailles de ces structures. Les établissements d'HAD sont des systèmes complexes à cause du nombre important d'acteurs (médicaux, paramédicaux, et administratifs) et de la particularité de chaque prise en charge qui dépend du projet thérapeutique et de la pathologie du patient.

Le vieillissement de la population a entraîné également l'apparition de nouvelles technologies de l'information et de la communication à domicile par le biais de solutions de type « smart homes ». Nous pouvons donc envisager d'introduire ces nouvelles technologies dans la prise en charge supervisée à domicile. C'est ce que nous désignerons dans cet article par *l'HAD supervisée*. L'organisation des soins à domicile pourrait, dans le cas de l'HAD supervisée, prendre en compte, outre toutes les contraintes relatives au projet thérapeutique du patient et

à la structure d'HAD, les habitudes de vie du patient (activities of Daily Living : ADLs). L'ensemble de ces habitudes sont identifiées à partir des données actimétriques issues des capteurs installés au domicile. Cette prise en charge sera donc personnalisée et adaptative :

- *Personnalisée* puisqu'elle prendra en compte les habitudes de vie de la personne,
- *Adaptative* puisque les interventions et les passages à domicile s'adapteront aux changements des habitudes de vie et à l'état du patient.

Nous présentons dans cet article un cadre de modélisation dans lequel deux systèmes d'aide à la décision interviennent :

- Un système d'aide à la décision pour traiter les données issues des capteurs installés au domicile, et qui permet d'identifier les habitudes de vie des patients,
- Un système d'aide à la décision pour la planification des visites à domicile qui prend en compte les habitudes de vie du patient. A partir de ces dernières, nous identifions les fenêtres de temps de disponibilité des patients. Ainsi, les visites seront réalisées durant ces fenêtres de temps.

Notre contribution dans cet article concerne :

- La proposition d'un nouveau cadre de modélisation qui prend en compte deux systèmes d'aide à la décision (décrits ci-dessus) pour générer une prise en charge personnalisée à domicile.
- La prise en compte des habitudes de vie dans la planification des visites et la prise en compte de plusieurs fenêtres de temps de disponibilité par jour pour chaque patient. Cette planification repose sur une modélisation de type VRPMTW (Vehicle Routing Problem with Multiple Time Windows).

On ne s'intéressera pas dans cet article au détail du système d'aide à la décision associé au smart home. Nous considérons dans ce travail que nous disposons des des habitudes de vie des patients que nous convertissons en fenêtres de temps de disponibilité pour chaque patient. La suite de cet article est organisée comme suit : nous présentons dans la deuxième section le contexte et la problématique étudiée. Nous réalisons dans la troisième section un état de l'art sur les smart homes et les systèmes d'aide à la décision pour la planification des interventions à domicile. Nous proposons par la suite dans une quatrième section, une modélisation basée sur un programme linéaire qui prend en compte à la fois les contraintes organisationnelles et les habitudes de vie des patients. La dernière section traitera des perspectives de recherche.

2 CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Nous désignons par « HAD supervisée », la prise en charge dans un domicile équipé d'un système de supervision. Ce système est constitué d'un ensemble de capteurs non-invasifs permettant de renseigner le système sur les habitudes de vie du patient au moyen de données actimétriques.

L'HAD supervisée peut être considérée comme une des techniques de la télésanté qui, selon la définition de (ANAP, 2012), représente : « l'utilisation de technologies numériques au bénéfice de pratiques tant médicales que médico-sociales ». D'une façon générale, le cadre de l'HAD représente un terrain d'expérimentation tout à fait pertinent pour expérimenter des solutions autour de la télésanté. En effet l'HAD offre le double avantage de fournir au domicile les équipements de soins nécessaires ainsi que la présence de personnel de soins qualifié. Les applications privilégiées actuellement concernent essentiellement la télémédecine : la télésurveillance et la téléconsultation sur des segments d'activités bien précis : l'obstétrique, insuffisance cardiaque, diabète, etc (FNEHAD, 2015). La nouvelle voie que représente l'HAD supervisée, peut s'inscrire en complément à des solutions de télémédecine, elle-même définie comme : « la réalisation d'un acte médical à distance ». Le projet thérapeutique du patient organise toute sa prise en charge à domicile avec toutes les visites de soins nécessaires ainsi que les livraisons de médicaments, etc.

En plus de toutes ces activités de soins, d'autres services s'organisent autour du patient (livraisons des repas, etc). Les données actimétriques issues d'un système d'HAD supervisée viendront compléter l'offre de soin au chevet du patient en étant plus en harmonie avec ses habitudes de vie.

Les solutions pour la planification en HAD prennent en compte les contraintes organisationnelles telles que la qualification des intervenants, la disponibilité des ressources, la distance séparant les domiciles, etc (Redjem and Marcon, 2016) (Yalçindag et al, 2016). Notre objectif est d'élargir cette liste de contraintes aux habitudes de vie du patient. Dans le cadre précis de « l'HAD supervisée », le domicile du patient est équipé de capteurs permettant d'identifier ses habitudes de vies.

En prenant en compte le contexte du patient dans sa globalité, la planification des soins dans la prise en charge adaptative aboutira à :

- Des plannings d'interventions « quasi » personnalisés afin de ne pas contraindre un patient à rester chez lui toute la journée dans l'attente d'un intervenant qui va passer pour un soin, une visite ou une livraison,
- Des plannings évolutifs selon l'état de santé du patient comme par exemple dans le cas d'un changement brutal d'habitude signifiant une dégradation de son état de santé.

3 ETAT DE L'ART

Nous avons recensé les travaux scientifiques et les projets de recherches combinant :

- La planification des soins à domicile,
- La prise en charge dans des domiciles équipés d'un système d'aide à la décision : « Smart Homes » et « Home-based assistance ».

La littérature scientifique disponible sur les conditions de déploiement de la supervision à domicile dans le cadre d'une prise en charge en HAD est insuffisante (quasi inexistante). Il en est de même concernant les effets d'une telle supervision sur l'organisation des soins. Nous nous sommes alors rapprochés des travaux abordant des thématiques participant à l'élaboration de ce type de solution. Il s'agit de travaux combinant :

- La planification des soins à domicile
- La prise en charge dans des domiciles équipés d'un système d'aide à la décision (supervision) : « Smart Homes », « Home-based assistance »
- La prise en charge adaptative (Adaptive Intervention : AI).

En effet la planification des soins en HAD supervisée se trouve à la croisée de trois problématiques : la planification des soins à domicile, l'exploitation des données actimétriques pour identifier les habitudes de vie à domicile (smarthomes et ADLs) ainsi que la prise en charge dite adaptative dans la mesure où nous visons une

solution adaptée à chaque patient et évoluant selon son état.

L'introduction des technologies de l'information et de la communication à domicile s'est concrétisée ces vingt dernières années par le biais des solutions du type « smart homes ». Il s'agit de domiciles équipés de différents capteurs (audio, vidéo, RFID, etc) et d'un système permettant de centraliser et d'exploiter les différentes données. Les applications des Smart homes sont diverses : la sécurité, les économies d'énergie et la santé (De Silva et al. 2012). Dans le cadre de nos travaux sur l'HAD supervisée, nous nous intéresserons de près aux solutions en Smart homes dédiées aux applications de la santé, plus particulièrement, aux domiciles équipés de capteurs et d'un système de supervision intelligent permettant de renseigner sur les habitudes de vie des patients. Concernant le développement des capteurs, les travaux de recherche ont atteint un niveau de maturation (Saad al-sumaiti et al., 2014), ce qui n'est pas le cas des systèmes d'aide à la décision dont l'objectif est de filtrer les données des capteurs et de les traiter dans le but soit de renseigner sur l'activité du patient, soit de déclencher une alerte. Dans l'état de l'art suivant, nous présentons dans un premier volet les "adaptive interventions (AI)". Un deuxième volet traitera les différents outils de planifications utilisés dans l'HAD, ceci afin de mettre en évidence certains verrous scientifiques concernant la spécificité de la planification en HAD supervisée.

Une "Adaptive Intervention" (AI) est une intervention adaptée à chaque patient. Cette intervention est décidée en fonction de plusieurs critères comme par exemple le processus de soins, l'état du patient, les données du patient, etc. Ces interventions sont réajustées hebdomadairement en fonction de l'évolution de l'état du patient, des changements de comportement, des données comportementale (stress, habitudes, ...), etc. Les AI permettent aussi de moduler l'intensité, le type et le dosage du traitement dans le cas de décisions critiques. Le patient reste au cœur du processus ce qui permet d'améliorer les pratiques (Almirall et al., 2011). Les AI sont déterminées en fonction de règles de décision. Ces règles ont pour entrée les caractéristiques des patients ainsi que les résultats d'examen (comme par exemple les risques, les allergies, les antécédents, ...) et fournissent en sortie la recommandation d'un traitement adapté au patient. A partir de ces règles de décision, on peut décider du moment d'administration des soins et quand est-ce qu'il faut changer les soins (Dawson and Lavori, 2003). L'approche par les AI est utilisée dans le cas de traitement de la toxicomanie, le traitement des dépressifs et des troubles de la schizophrénie. Les AI peuvent être représentées comme la sortie d'un système à boucle fermée qui influence les données d'entrée afin de modifier le soin à faire en fonction de l'évolution de l'état du patient (Rivera et al., 2007) (Rivera, 2012). Certains auteurs utilisent les méthodes d'apprentissage par renforcement

pour déterminer les AI à partir des données des patients (Murphy et al., 2007a) (Murphy et al., 2007b). D'autres études ont été menées sur les "Behavioral Interventions" (Collins, 2012). Il s'agit de programmes de soins adaptés aux patients afin de prévenir des changements d'états, de traiter des maladies ou encore d'améliorer le confort et le bien-être du patient. "Adaptive Interventions" ou "behavioral interventions" peuvent être représentées comme un ensemble dynamique d'activités qui vont intervenir à un instant donné en fonction des besoins médicaux et des activités quotidiennes des patients (Iyer et al., 2005).

La majorité des travaux mettent en évidence les liens entre l'utilisation des nouvelles technologies et l'amélioration de la qualité de vie et de la santé du patient. Toutefois, aucun d'eux ne traite de l'intégration de ces technologies dans l'organisation i.e. la planification des soins. L'absence d'un outil d'aide à la décision dans les systèmes de supervision à domicile existants représente un inconvénient majeur. En effet, les capteurs à domicile pourraient renseigner le personnel soignant sur les habitudes et l'état de santé des patients, ce qui permettra d'adapter les soins et les passages (Marschollek, 2012). Il en sort par contre un intérêt particulier pour les approches de prise en charge à domicile de plus en plus personnalisées et adaptatives. La prise en charge adaptative présente plusieurs avantages (Collins et al., 2004). Elle permet d'éviter les effets secondaires en cas de surdosage inutile d'un médicament donnée. Elle permet également la réduction des pertes en optimisant les soins, les médicaments et toutes les ressources matérielles et humaines. Un meilleur confort de prise en charge est ressenti par le patient comparé à une prise en charge classique (Collins et al., 2004).

4 L'HAD SUPERVISEE

Les recherches sur les smart homes se sont beaucoup développées ces dernières années ce qui a entraîné le développement des Systèmes d'Aide à la Décision (SAD) à domicile. Ces SAD utilisent les données issues des capteurs installés au domicile du patient pour identifier le comportement et les habitudes de vie (Marschollek, 2012). Nous considérons dans la modélisation proposée que le comportement et les habitudes de vie des patients sont connues (Botia et al., 2012) et seront utilisés pour établir une prise en charge personnalisée et adaptative.

Nous proposons la modélisation suivante (figure 1) pour illustrer la structure de l'HAD supervisée. Nous considérons les données des capteurs installés au domicile « sensors data » comme entrée du système d'aide à la décision associé au smart home « smart home DSS¹ ». En sortie du « smart home DSS », nous obtenons les modèles de comportement « behavior model » et les habitudes de vie de chaque patient « ADLs ». Nous considérons également un ensemble de données patients, de

¹ Decision Support System

contraintes relatives à la disponibilité des ressources, à l'organisation de la structure d'HAD et au traitement médical du patient. L'ensemble de ces données associées aux sorties du « smart home DSS » constituent les entrées du « HHC² DSS » pour générer le planning des visites à domicile. Ce planning est donc personnalisé et adaptatif en fonction des habitudes de vie du patient et de son dossier thérapeutique.

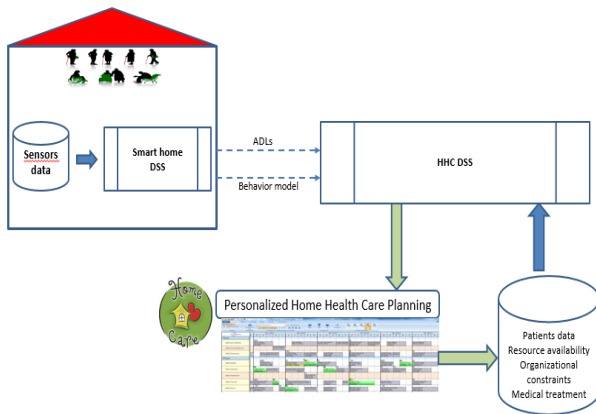


Figure 1. HAD supervisée

4.1 Prise en charge personnalisée

La prise en charge est personnalisée et prend en compte la variabilité des comportements, des environnements, des activités, des habitudes de vies, etc. Il s'agit alors d'une prise en charge qui favorise le bien-être du patient puisqu'elle prend en compte tout son environnement et ne perturbe pas ses activités quotidiennes. Les passages des intervenants se font en fonction des disponibilités des patients. Ces disponibilités sont identifiées à partir du traitement des données issues des capteurs placés à domicile.

Pour générer le planning, nous considérons plusieurs fenêtres de temps de disponibilité par patient pendant la journée. Ces fenêtres de temps représentent des intervalles pendant lesquels un soin ou un service peut être prodigué au patient. L'aspect personnalisé de la prise en charge à domicile sensibilisera le patient à sa situation et le responsabilisera dans la mesure où son degré de satisfaction ne sera que meilleur (Andersson et al., 2014).

4.2 Prise en charge adaptative

Le planning prend en compte les informations issues du SAD associé au smart home ainsi que les informations relatives à la structure d'HAD. Il prend en compte le modèle de comportement des personnes ainsi que les habitudes de vie. Ces derniers peuvent évoluer soit à cause d'un changement de l'état du patient ou de problèmes au niveau des signaux émis par les capteurs. Le planning est alors actualisé en fonction de ces nouvelles données et est adapté à la nouvelle situation. D'autres modifications

peuvent être dues à la structure de soins à domicile tels que des situations d'urgence ou une absence de personnel.

5 PLANIFICATION ADAPTATIVE ET PERSONNALISEE DES INTERVENTIONS A DOMICILE

5.1 Etat de l'art

Les problèmes de planification des visites à domicile peuvent être assimilés à des problèmes de tournées de véhicules ou à des problèmes de planification de personnel avec des contraintes spécifiques au domaine de la santé. Ce problème peut également être assimilé à un problème de voyageur de commerce avec multi-dépôt et fenêtre de temps (Allaoua et al., 2013) où l'intervenant est le voyageur et les domiciles des patients sont les dépôts. Tous ces problèmes ont des contraintes et des objectifs en commun (Misir et al., 2015). Toutefois, l'hospitalisation à domicile est confrontée à des objectifs spécifiques puisque les patients ont des profils différents avec des demandes de soins de plus en plus lourdes. L'organisation des soins à domicile implique également la prise en compte de plusieurs paramètres comme les déplacements dans des zones géographiques différentes et les fenêtres de disponibilité durant lesquelles les activités doivent être réalisées. L'objectif étant de calculer les plannings de façon à ce que tous les soins soient réalisés et toutes les préférences des patients soient satisfaites. L'HAD doit aussi prendre en compte le cas des visites partagées où deux intervenants doivent arriver au même temps chez le patient (Redjem et al., 2012) ainsi que les durées des déplacements (Hiermann et al., 2013). Toutefois, il existe des incertitudes relatives aux demandes de soins et à leur durée variable des soins ce qui rend cette planification difficile à mettre en place (Nowak et al., 2013).

La planification de la tournée des intervenants consiste à déterminer quelle ressource est la plus adaptée pour réaliser l'activité durant l'intervalle imparti pour satisfaire le besoin du patient (Borsiani et al., 2006). Plusieurs travaux en recherche opérationnelle ont étudié ce problème et l'ont formulé comme un problème de tournée de véhicules avec fenêtres de temps (VRPTW) (Mutingi et al., 2013) (Cheng et Rich, 1998) (Thomson, 2006) (Liu et al., 2013) (Redjem et al., 2012). D'autres recherches utilisent les méta-heuristiques (Nickel et al., 2012) ou encore les chaînes de Markov (Koeleman et al., 2012) pour résoudre le problème de planification des tournées en HAD. Pour planifier les visites chez les patients, les structures de soins à domicile ont besoin d'un système d'aide à la décision (Eveborn et al., 2010) (Begur et al., 2011) (Chiba et al., 2005). L'objectif étant de minimiser la distance parcourue et de maximiser le nombre de visites réalisées. Certaines structures doivent également considérer des contraintes relatives à la péremption des médicaments notamment quand il s'agit de soins en chimiothérapie (Chahed et al., 2009). Des pénalités

² HHC : Home Health Care (Soins à domicile)

peuvent être rajoutées quand les fenêtres de temps des visites ne sont pas respectées (Bertels and Fahle, 2006).

L'efficacité et l'efficience de l'organisation et de la qualité des soins à domicile peut être évaluée en mesurant la satisfaction des patients. Des recherches se sont intéressées à la satisfaction des patients et ce, en évaluant la cohérence entre la préférence du patient pour un intervenant donné et le respect de ce choix par la structure de l'HAD lors des visites. Une heuristique a été développée pour revoir les affectations entre soignants et patients tout en minimisant les distances parcourues afin

de satisfaire au maximum les préférences des patients (Issaoui et al., 2015). Une méthode basée sur la recherche de voisinage variable (Trautsamwieser and Hirsch, 2011) s'est également intéressée à la satisfaction des patients. La continuité des soins est aussi traitée dans les travaux de (Nowak et al., 2013) (Wirnitzer et al., 2015). Il s'agit d'un critère important pour la satisfaction des patients puisque la continuité des soins suppose que chaque patient est toujours visité par le même intervenant ce qui permet d'installer une relation de confort et de confiance entre le patient et le soignant (Lanzarone and Matta, 2014).

	Distance totale parcourue	Infirmier référent	Temps d'attente	Violation des contraintes souples	Préférence des patients pour un intervenant	Satisfaction des patients	Répartition équilibrée des charges	Heures supplémentaires	Nombre de visites non réalisées
Misir et al., 2015	x		x	x					
Issaoui et al., 2015	x					x			
Maya Duque et al., 2015	x								
Cardoso et al., 2015							x		
Wirnitzer et al., 2015					x	x			
Lieder et al., 2015				x		x			
En-nahli et al., 2015	x				x	x			
Cattafi et al., 2015							x		
Lanzarone and Matta, 2014			x					x	
Fikar and Hirsch, 2014								x	
Hiermann et al., 2013				x					
Gayraud et al., 2013	x								
Cappanera et al., 2013			x				x		
Viet Thi Ly and Montemanni, 2013							x		x
Gamst and Jensen, 2012	x	x							
Rasmussen et al., 2012	x				x				
Redjem et al., 2012	x		x						
Trautsamwieser and Hirsch, 2011	x				x			x	
Trautsamwieser et al., 2011	x				x	x			

Tableau 1. Critères optimisés dans la littérature

Le tableau 1 résumé l'ensemble des critères optimisés dans les travaux de recherche qui se sont intéressés à la planification des tournées en HAD. On a limité les travaux répertoriés dans ce tableau à ceux datant de l'année 2011 jusqu'à aujourd'hui. Plusieurs critères ont été optimisés

dans ces travaux. Certains articles se sont intéressés à l'optimisation multi-objectifs tel que dans (En-nahli et al, 2015). Nous remarquons également que le critère le plus généralement optimisé est la minimisation de la distance totale parcourue par les intervenants.

	Disponibilité des patients	Disponibilité des intervenants	Qualification des intervenants	Pause déjeuner	Préférence patient/soignant	Plusieurs visites par jour	Visites partagées	Degré de dépendance
Gamst and Jensen, 2012		x	x					
Misir et al., 2015	x		x		x			
Trautsamwieser and Hirsch, 2011	x	x	x	x				
Trautsamwieser et al., 2011	x		x					
Rasmussen et al., 2012	x				x			
Hiermann et al., 2013	x	x	x					
Liu et al., 2013	x							
Redjem et al., 2012	x					x	x	
Issaoui et al., 2015	x	x	x					
Maya Duque et al., 2015	x		x		x			
Wirnitzer et al., 2015		x	x	x				
Lieder et al., 2015	x		x					
Gayraud et al., 2013	x					x	x	x
En-nahli et al., 2015	x	x	x	x	x			
Cappanera et al., 2013								
Viet Thi Ly and Montemanni, 2013			x					
Fikar et Hirsch, 2014				x				
Cattafi et al., 2015		x						
Cappanera et al., 2013			x					

Tableau 2. Contraintes prises en compte

Le tableau 2 présente les contraintes prises en compte dans les articles que nous avons étudié. Nous remarquons que les contraintes les plus souvent prises en compte sont les disponibilités des patients ainsi que la qualification des intervenants. Nous n'avons pas répertorié dans ce tableau l'ensemble des travaux que nous citons puisque dans certains (Cappanera et al, 2013) (Cattafi et al, 2015) (Fikar and Hirsch, 2014), nous n'avons pas pu identifier les contraintes prises en compte.

Dans notre article, nous proposons les contributions suivantes à la planification des activités à domicile. Nous prenons en compte les habitudes de vie des patients représentées par plusieurs fenêtres de temps. Nous considérons le cas de plusieurs visites par jour et nous formulons le problème sous la forme d'un problème de tournée de véhicules avec plusieurs fenêtres de temps : VRPMTW (Vehicle Routing Problem with Multiple Time Windows). En effet, il s'agit d'un problème encore peu étudié dans la littérature (Beheshti et al, 2015) (Lin et Yu, 2015) (Belhaiza et al, 2014) (Favaretto et al, 2007).

5.2 Approche proposée

Notre objectif est de proposer un modèle pour planifier les visites des intervenants à domicile et de minimiser la distance totale parcourue ainsi que le temps d'attente des patients avant les visites. Le problème peut être décrit comme suit : sur un horizon de temps donné et suivant la demande de soins des patients, nous devons planifier les visites pendant les fenêtres de disponibilité des patients (Cappanera, 2013). Nous proposons un modèle mathématique basée sur une programmation linéaire entière. Nous considérons le problème comme une tournée de véhicules avec plusieurs fenêtres de temps (VRPMTW) où les intervenants représentent les véhicules et les fenêtres temps indiquent la disponibilité des patients durant la journée.

5.2.1 Hypothèses et notations

Nous considérons un ensemble d'intervenants à domicile $C = \{1, n\}$. Chaque intervenant a une qualification Q_{ki} qui lui permet de réaliser l'activité i . Nous considérons également un ensemble de patients $P = \{0, m\}$. L'indice 0 représente un patient fictif qui est la structure de soins à domicile. Chaque intervenant doit partir et revenir à la structure de l'HAD à la fin de sa tournée. Chaque visite est caractérisée par sa durée p_i . Nous prenons en compte plusieurs fenêtre de temps de disponibilité des patients. Chaque soin peut être réalisé durant une fenêtre de temps et chaque patient a plusieurs fenêtres de temps représentées par l'intervalle $[e_{iv}, l_{iv}]$ où i désigne le patient et v désigne le numéro de la fenêtre de temps sachant que $e_{iv} \leq l_{iv}$ et $l_{iv} \leq e_{i(v+1)}$. La distance entre deux domiciles est représentée par $dist_{ij}$ (en minutes) avec i et j deux domiciles de deux patients distincts. Nous supposons qu'une seule visite peut avoir lieu durant une fenêtre de temps de disponibilité. Afin de restreindre les

zones géographiques de chaque tournée, nous avons défini une distance maximale $dist_{max}$ à ne pas dépasser entre deux visites successives. La donnée $visits_i$ représente le nombre de visites requis par chaque patient durant une journée.

Indices :

Patients : $i, j, z \in \{0, m\}$ avec m le nombre de patients,
Intervenants : $k \in \{1, n\}$ avec n le nombre d'intervenants,
Fenêtres de temps : $v \in \{1, f\}$ où f représente le nombre de fenêtre de temps de disponibilité par patient.

Variables de décision :

Les variables X_{ijk} prennent les valeurs suivantes : 1 si la visite est réalisée par l'intervenants k au patient i avant le patient j , 0 sinon.
Les variables S_{ki} indiquent la date d'arrivée de l'intervenants k chez le patient i .
Les variables y_{iv} prennent les valeurs suivantes : 1 si la visite i a lieu durant la fenêtre de temps v , 0 sinon.
La variable W_j indique le temps d'attente du patient j avant chaque visite.

La fonction objectif minimise la distance totale parcourue par les intervenants ainsi que le temps d'attente des patients avant chaque visite.

$$\text{Min} \sum_{i \in P} \sum_{j \in P \setminus i} \sum_{k \in C} X_{ijk} \cdot dist_{ij} + \sum_{i \in P} W_i \quad (1)$$

Chaque patient a un nombre de fenêtre de temps de disponibilité. Les intervenants peuvent visiter le patient pendant ces fenêtres de temps qui indiquent la date au plus tôt et au plus tard des visites.

$\sum_{v \in F} e_{iv} \cdot y_{iv} \leq S_{ki} \quad \forall i \in P, \forall k \in C$	(2)
$\sum_{v \in F} l_{iv} \cdot y_{iv} \geq S_{ki} \quad \forall i \in P, \forall k \in C$	(3)

Les contraintes (4) imposent que chaque patient est visité autant de fois nécessaire.

$$\sum_{v \in F} y_{iv} = 1 \quad \forall i \in P \quad (4)$$

Toutes les visites doivent être réalisées (Contraintes 5 et 6).

$$\sum_{i \in P} \sum_{k \in C} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in P, \forall j \neq i \quad (5)$$

$$\sum_{j \in P} \sum_{k \in C} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in P, \forall j \neq i \quad (6)$$

Chaque visite nécessite une qualification. Les contraintes (7) assurent que chaque soin est réalisé par un intervenant qui a les qualifications requises. La donnée Q_{ki} prend les la valeur 1, si l'intervenant k est qualifié pour réaliser la visite i , 0 sinon.

$$\sum_{k \in C} \sum_{i \in P / \forall j \neq i} x_{ijk} \cdot Q_{ki} \geq 1 \quad \forall j \in P, \quad (7)$$

Les contraintes (8) et (9) assurent que le temps d'arrivée d'un intervenant chez un patient est calculé en fonction de la distance séparant les deux domiciles, de la durée du soin.

$$S_{ki} + p_i + dist_{ij} - S_{kj} + W_j \geq HV \cdot (x_{ijk} - 1) \quad \forall i \in P, \forall j \in P, \forall k \in C, \forall j \neq i \quad (8)$$

$$S_{ki} + p_i + dist_{ij} - S_{kj} + W_j \leq HV \cdot (1 - x_{ijk}) \quad \forall i \in P, \forall j \in P, \forall k \in C, \forall j \neq i \quad (9)$$

Afin de restreindre chaque intervenant à un territoire géographique, nous définissons une distance maximale à ne pas dépasser entre deux visites successives (Contraintes 10).

$$S_{kj} - S_{ki} - p_i \leq dist_{max} + (1 - x_{ijk}) \cdot HV \quad \forall i \in P, \forall j \in P, \forall k \in C, \forall j \neq i \quad (10)$$

Les contraintes (11) assurent une cohérence dans le déroulement de la tournée de chaque intervenant. En effet, lorsqu'il arrive chez un patient z , il doit repartir depuis le domicile de ce dernier vers un nouveau patient à soigner.

$$\sum_{i \in P} x_{izk} = \sum_{j \in P} x_{zjk} \quad \forall z \in P, \forall k \in C, \forall j \neq z, \forall i \neq z \quad (11)$$

Les contraintes (12) et (13) imposent que chaque intervenant commence sa tournée à partir de la structure de l'HAD et y retourne à la fin de son service.

$$\sum_{i \in P} x_{i1k} = 1 \quad \forall k \in C \quad (12)$$

$$\sum_{j \in P} x_{1jk} = 1 \quad \forall k \in C \quad (13)$$

Les contraintes (14), (15) et (16) indiquent que X_{ijk} et y_{iv} sont des variables booléennes, et que S_{ki} sont des variables positives.

$$\forall i \in C, \forall j \in P, \forall k \in P, X_{ijk} \in \{0,1\} \quad (14)$$

$$\forall i \in C, \forall j \in P, \forall k \in P, S_{ki} \geq 0 \quad (15)$$

$$\forall j \in P, \forall u \in F, y_{iv} \in \{0,1\} \quad (16)$$

5.2.2 Expérimentations et discussions

L'objectif de cette partie est de montrer la faisabilité du modèle proposé en utilisant des données réelles. Nous utilisons les distances réelles en minutes séparant les domiciles des patients. L'HAD doit gérer 25 patients par jour et organiser les visites selon la disponibilité des patients. Ils doivent également prendre en compte les habitudes de vie (figure 3).

Nous utilisons une méthode exacte pour résoudre le problème mathématique formulé ci-dessus. Nous avons expérimenté les cas de 3 intervenants avec 11, 17 et 24 patients. Pour le cas des 24 patients, 4 d'entre eux nécessitent 2 visites pendant la journée sachant qu'une seule visite peut avoir lieu durant une fenêtre de temps. Nous avons créé pour chacun d'eux une deuxième visite fictive (figure 4) et nous avons donc divisé les fenêtres de temps en plusieurs petites fenêtres de temps afin de permettre la réalisation de plusieurs visites par jour et de ne pas restreindre la durée entre deux visites pour le même patient (figure 5).

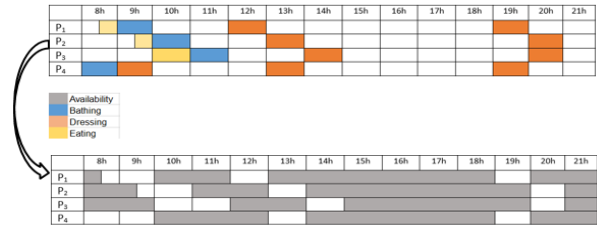


Figure 3. Identification des fenêtres de temps à partir des habitudes de vie

HAD	visits per day	HAD	visits per day
P1	1	P1	1
P2	1	P2	1
P3	1	P2'	1
P4	1	P3	1
P5	1	P4	1
P6	1	P4'	1
P8	1	P5	1
P9	1	P6	1
P10	1	P8	1
P11	2	P9	1
		P10	1
		P11	1
		P11'	1

Figure 4. Cas où une visite fictive est créer pour répondre au besoin des patients

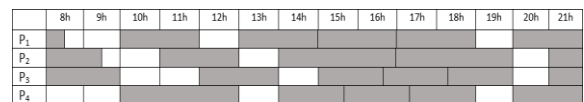


Figure 5. Division des fenêtres de temps

Nous obtenons une solution réalisable et un planning personnalisé aux habitudes de patient après au maximum, une heure de résolution en utilisant le solveur AIMMS. Dans le cas de l'HAD de Bourges, la durée de la résolution n'est pas un handicap puisque l'infirmière coordinatrice prépare ses plannings en avance. Ceci peut

être un inconvénient par contre pour la gestion des urgences et des imprévus. Cet outil est performant dans la mesure où l'HAD ne dispose d'aucun outil pour calculer les plannings. Un exemple de planning est illustré dans la figure 6.

	8h	9h	10h	11h	12h	13h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	21h
P ₁			Care worker 1				Care worker 1							
P ₂				Care worker 1										
P ₃					Care worker 1			Care worker 1						
P ₄											Care worker 1			

Figure 6. Exemple d'un planning pour un intervenant et plusieurs patients.

6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'organisation des soins est une problématique importante pour les structures de soins à domicile puisqu'il y a des économies à faire concernant les déplacements et l'optimisation de l'utilisation des ressources matérielles et humaines. La qualité des soins et le confort des patients sont deux critères très importants à prendre en compte dans la prise en charge à domicile. Les contraintes définies permettent de prendre en compte les habitudes de vie des patients, ce qui leur offre une prise en charge en accord avec leur quotidien.

Dans ce papier, nous présentons les premiers travaux que nous avons mené sur la prise en charge personnalisée à domicile dans un environnement supervisé. En effet, La supervision à domicile s'est beaucoup développée ces dernières années et il nous semblait important d'intégrer cet aspect à l'organisation des soins. Nous avons tout d'abord présenté un cadre de modélisation où nous avons pris en considération un système d'aide à la décision associé au système de supervision installé au domicile. Ce premier système permet de déterminer les habitudes de vie des patients. Nous avons développé par la suite un outil d'aide à la décision qui permet de générer un planning personnalisé aux habitudes et au quotidien de chaque patient. Il s'agit d'une application du problème de tournées de véhicules avec plusieurs fenêtres de temps qui a été rarement étudié dans la littérature.

Nous avons apporté les premières réponses à cette problématique même s'il reste encore des points à développer. Dans nos travaux futurs, nous envisageons d'étudier la possibilité de plusieurs visites dans une fenêtre de temps de disponibilité. Nous voudrions également prendre en compte le degré de dépendance de chaque patient pour calculer la pénibilité des tournées et équilibrer la pénibilité entre les intervenants. Nous souhaitons également comparer plusieurs techniques de résolutions avec la méthode exacte que nous avons utilisé afin d'améliorer le temps de résolution. Le planning proposé se veut adaptatif et personnalisé. Il serait envisageable de proposer une planification dynamique pour intégrer les changements d'habitudes et de comportement afin d'adapter le planning aux évolutions.

REFERENCES

- Almirall D., Compton S. N., Murphy S. A., Introduction to adaptive interventions and SMART study design principles, Getting SMART about developing individualized sequences of health interventions, CPDD, Hollywood, Florida, 2011.
- Al-Sumaiti A.S., Ahmed M.H., Salama M.M.A., 2014. Smart home activities: A literature review, Electric power components and systems, 42:3-4, 294-305.
- ANAP, 2012. Rapport d'activité, Agence Nationale d'Appui à la Performance des 2établissement de santé et médico-sociaux.
- Andersson N., Grinberg A., Okkels N., 2014. How personalized medical data could improve health care, Preventive Medicine 67, 303-305.
- Beheshti A.K., Hejazi S.R., Alinaghian M., 2015. The vehicle routing problem with multiple prioritized time windows: A case study, Computers and industrial engineering, 90, 402-413.
- Belhaiza S., Hansen P., Laporte G., 2013. A hybrid variable neighborhood tabu search heuristic for the vehicle routing problem with multiple time windows, Computers and operations research, 2013.
- Botia J.A., Villa A., Palma J. 2012. Ambient assisted living system for in-home monitoring of healthy independent elders, expert systems with applications, 39, 8136-8148.
- Cappanera P., 2013. Home care optimization: impact of pattern generation policies on scheduling and routing decision, Electronic notes in discrete mathematics, 41, 53-60.
- Collins L.M., 2012. A strategy for optimizing and evaluating behavioral interventions, mémoire de thèse.
- Collins L.M., Murphy S.A., Bierman K.L., 2004. A conceptual framework for adaptive preventive interventions, prevention science, vol 5, N°3, 2004.
- Dawson R., Lavori P.W., Comparison of designs for adaptive treatment strategies: baseline vs. adaptive randomization, Journal of statistical planning and inference, 117, p 365-385, 2003.
- De Silva, L.C., Morikawa, C., Petra, I.M., state of the art of smart homes, journal of engineering applications of artificial intelligence, Elsevier 2012.
- Favaretto D., Moretti E., Pellegrini P., 2007. Ant colony system for a VRP with multiple time windows and

multiple visits, journal of interdisciplinary mathematics, 10.

FNEHAD, 2015. Rapport d'activité 2014-2015, Fédération Nationale des Etablissements d'Hospitalisation A Domicile.

Iyer P.S., Haight J.M., Del Castillo E., Tink B.W., Hawkins P.W., 2005. A research model- forecasting incident rates from optimized safety program intervention strategies, Journal of safety research, volume 36, Issue 4, 2005, Pages 341-351.

Lin S.W., Yu V.F., 2015. A simulated annealing heuristic for the multiconstraint team orienteering problem with multiple time windows, Applied soft computing, 37, 632-642.

Marscholke M., 2012. Decision support at home DS@HOME: system architecture and requirements, BMC medical informatics and decision making.

Murphy S. A., Collins L. M., Rush A. J., Customizing treatment to the patient: adaptive treatment strategies, Drug and alcohol dependence, 88S, P S1-S3, 2007a.

Murphy S.A., Oslin D.W., Rush A. J., Zhu J., Methodological challenges in constructing effective treatment sequences for chronic psychiatric disorders, Neuropsychopharmacology, 32, P 257-262, 2007b.

Redjem R., Marcon E., 2016. Operations management in the home care services: a heuristic for the caregivers' routing problem, Flexible services and manufacturing journal, Volume 28, Issue 1-2, June 2016.

Rivera D. E., 2012. Optimized behavioral interventions: what does system identification and control engineering have to offer?, 16th IFAC Symposium on system identification, Brussels, Belgium.

Rivera D.E., Pew M.D., Collins L.M., 2007. Using engineering control principles to inform the design of adaptive interventions : a conceptual introduction, Drug and Alcohol dependence, volume 88, S31-S40.

Yalcindag S., Matta A., Sahin E., Shanthikumar J. G., 2016. The patient assignment problem in home health care: using a data-driven method to estimate the travel times of care givers, Flexible services and manufacturing journal, Volume 28, Issue 1-2, June 2016.

Les références bibliographiques sont données dans le texte sous la forme suivante : (premier auteur et deuxième auteur, année), pour les publications avec un ou deux auteurs, et (premier auteur *et al.*, année), pour les publications avec plus de deux auteurs. S'il y a plusieurs publications des mêmes auteurs pour la même année, il faut ajouter une lettre donnant l'ordre, par exemple (Auteur et Coauteur, 2001a), (Auteur et Coauteur, 2001b).

Les références sont données à la fin de l'article dans l'ordre alphabétique des auteurs. Les références du même auteur sont rangées dans l'ordre chronologique.

Les références bibliographiques doivent respecter les exemples ci-dessous :

Dolgui A. and M.-A. Ould Louly, 2000a. An Inventory Control Model for MRP Parameterization. *Second Conference IFAC on Management and Control of Production and Logistics (MCPL'2000)*, Grenoble, France, vol. 3, p. 1001-1006.

Dolgui A. and M.-A. Ould Louly, 2000b. Optimization of Supply Chain Planning under Uncertainty. *Preprints of the IFAC Symposium on Manufacturing, Modeling, Management and Control (MIM'2000)*, Patras, Greece, p. 291-296.

Durand, J.A., 1996. *Ordonnancement dynamique et réactif dans les ateliers flow-shop hybrides : une approche à base d'algorithmes évolutionnistes hybrides*. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, France.

Ellis, M., and B. Stroustrup, 1990. *The annotated C++ reference manual*, Addison-Wesley.

Houck, C. R., J. A. Joines, and M. G. Kay, 1996. Comparison of genetic algorithms, random restart, and two-opt switching for solving large location-allocation problems. *Computers and Operations Research*, 23(6), p. 587-596.

Joines, J.A. and C.R. Houck, 1992. *Genetic Algorithm Optimization Toolbox for Matlab*. Department of Industrial Engineering, Technical Rapport No. 92-01, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.