

# LA PLANIFICATION QUOTIDIENNE DANS UNE STRUCTURE D'HOSPITALISATION A DOMICILE AVEC PRISE EN CONSIDERATION DU FACTEUR HUMAIN

Laila En-Nahli, Issam Nouaouri, Hamid Allaoui

▶ **To cite this version:**

Laila En-Nahli, Issam Nouaouri, Hamid Allaoui. LA PLANIFICATION QUOTIDIENNE DANS UNE STRUCTURE D'HOSPITALISATION A DOMICILE AVEC PRISE EN CONSIDERATION DU FACTEUR HUMAIN . MOSIM 2014, 10ème Conférence Francophone de Modélisation, Optimisation et Simulation, Nov 2014, Nancy, France. hal-01166587

**HAL Id: hal-01166587**
**https://hal.science/hal-01166587**

Submitted on 23 Jun 2015

**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.

# LA PLANIFICATION QUOTIDIENNE DANS UNE STRUCTURE D'HOSPITALISATION A DOMICILE AVEC PRISE EN CONSIDERATION DU FACTEUR HUMAIN

**Laila En-Nahli, Issam Nouaouri, Hamid Allaoui**

Université Lille Nord de France, Université d'Artois, LGI2A EA3926, Béthune, France
laila_en-nahli@ens.univ-artois.fr, issam.nouaouri@univ-artois.fr, hamid.allaoui@univ-artois.fr

***RESUME :*** *Compte tenu de la diversité des acteurs, de la multitude de critères à optimiser et de l'aspect humain dans l'hospitalisation à domicile, la planification des tournées du personnel soignant chez les patients est considérée comme étant une tâche très complexe. Notre objectif est d'élaborer une planification quotidienne des tournées du personnel de santé en assurant la satisfaction des patients et celle des ressources humaines tout en maitrisant les coûts. Tenir compte des préférences liées aux patients est essentiel pour une meilleure prise de décision. Dans cet article, nous proposons un programme linéaire mixte. Pour la résolution de ce modèle, nous utilisons le solveur ILOG CPLEX optimization Studio. Le programme est testé sur des instances aléatoires.*

**MOTS-CLES :** *Hospitalisation à domicile, programmation linéaire mixte, Planification et Routage, méthode exacte, mTSPTW.*

## 1 INTRODUCTION

Les structures d'hospitalisation à domicile (HAD) sont en pleine croissance en France. Elles consistent à offrir des prestations médicales ou paramédicales chez le patient. Cette croissance est due à des facteurs économiques liés à l'engorgement des hôpitaux et à la volonté de maitriser les coûts du domaine de la santé, et à des facteurs humains relatifs à l'augmentation de l'espérance de vie, au vieillissement de la population et à l'apparition de plusieurs maladies chroniques.
Apparues il y a un peu plus de cinquante ans en France, les structures d'hospitalisation à domicile sont soumises aux mêmes obligations que les établissements d'hospitalisation conventionnelle. Elles constituent une forme d'hospitalisation à part entière apportant des soins continus et coordonnés à des patients malades de tout âge souffrant de pathologies graves, aigües ou chroniques, évolutives et/ou instables (DURAND et al, 2010).

Le rapport rédigé par l'Inspection Générale des Affaires Sociales en 2010 indique que l'HAD est un système complexe et parfois difficile à gérer de points de vue humain et matériel (DURAND et al, 2010). L'HAD fait appel à plusieurs acteurs (médecin coordinateur, médecin hospitalier, médecin traitant, infirmiers, personnel paramédical, structures de gestion privées, associations, etc.) ce qui complique davantage la gestion des ressources et la coordination des soins. D'après le même rapport, la complexité du système HAD engendre des « tensions » à cause du mécontentement des différents acteurs.

Ainsi, les structures de l'HAD se voient dans l'obligation d'être organisées afin d'assurer la qualité, la permanence et la continuité des soins pour les patients, de respecter la charge de travail des soignants, tout en réduisant les coûts relatifs aux processus de soins. Or, la gestion des opérations dans le cadre des HAD s'avère très complexe. (Benzarti et al, 2010c) identifient dans leur article les facteurs de complexité. Parmi ces facteurs , nous citons : La diversité de l'offre de services en fonction des pathologies prises en charge et en fonction des différents protocoles de soins, l'incertitude relative à la disponibilité des patients et des ressources humaines/matérielles, la distinction entre le personnel soignant en fonction du niveau d'expérience, la qualité des soins, l'ordonnancement des activités de chaque personnel soignant en déterminant l'ordre dans lequel les visites vont être réalisées, la répartition équitable de la charge de travail entre les différents professionnels de santé, la satisfaction des patients, la réactivité face aux demandes imprévues (urgences) et la maitrise des coûts.

Nous nous sommes intéressés dans cet article à la gestion du planning des tournées du personnel soignant. C'est l'une des problématiques majeures relatives à l'HAD. Nous proposons un outil d'aide à la décision basé sur la programmation linéaire mixte afin d'établir une planification quotidienne des soins à domicile qui minimise la durée des déplacements entre les domiciles des patients et le temps d'attente du personnel soignant tout en assurant une meilleure qualité de soins aux patients.

Dans ce travail, nous nous intéressons également à la maximisation de la satisfaction du personnel soignant et des patients à domicile. Pour le personnel soignant, il s'agit d'assurer une répartition équilibrée de la charge de

travail, de minimiser le temps d'attente entre les visites et de garantir la pause repas. Pour le patient, il s'agit de lui affecter la compétence adéquate à son besoin et à respecter ses horaires de disponibilité à domicile et ses préférences concernant le choix du personnel soignant souhaité.

Cet article s'organise autour de 4 sections. La section 2 fait état des travaux établis dans la littérature afférente au problème de planification des tournées du personnel soignant. Dans la section 3, nous décrivons le modèle mathématique développé avec une programmation linéaire mixte. Dans la section 4, nous présentons nos résultats obtenus. Des perspectives de ce travail seront exposées à la fin de cet article.

## 2 REVUE DE LA LITTERATURE

Les problématiques relatives à l'HAD traitées dans la littérature sont essentiellement le dimensionnement des ressources humaines (Busby et Carter, 2006), le partitionnement géographique du territoire en sous-zones (Lahrichi et al., 2006) (Blais et al., 2003), l'affectation des ressources aux sous-zones (Hertz et al., 2006) (Boldy et al., 1980) et l'ordonnancement des activités des professionnels de santé (Thomsen, 2006) (Chiba et al., 2005). (Benzarti et al., 2010b) présentent dans leur article un tour d'horizon sur les travaux qui ont abordé les différentes problématiques cités ci-dessus.

Dans cet article, nous nous sommes intéressés particulièrement aux travaux traitant l'affectation et l'ordonnancement des tournées du personnel soignant. (Yalindag et al., 2014) présentent un état d'art exhaustif des travaux qui ont abordé cette problématique.

L'organisation des visites du personnel implique deux décisions hiérarchiques qui peuvent être traitées simultanément ou séparément : L'affectation du personnel aux patients, ensuite, l'ordonnancement des activités de chaque professionnel en déterminant l'ordre dans lequel les visites doivent être réalisées (Benzarti et al., 2010c). Nous présentons dans ce qui suit quelques travaux en relation avec la problématique abordée.

(Kergosien et al., 2009) considèrent la tournée du personnel soignant comme une extension du mTSPTW avec des contraintes additionnelles spécifiques à l'HAD : la disponibilité des patients, les compétences des ressources humaines, les préférences du patient pour le personnel soignant et la synchronisation des soins multiples pour le même patient. Les auteurs proposent un programme linéaire en nombre entier. L'objectif est de réduire les coûts relatifs aux déplacements du personnel entre les différents domiciles de patients.

(Cheng et Rich, 1998) traitent le problème de tournées des infirmiers comme une extension du VRPTW avec des dépôts multiples. L'objectif est de trouver la meilleure planification permettant de minimiser les coûts relatifs aux heures supplémentaires pour les infirmiers à temps plein et au travail des infirmiers à temps partiel. Pour la résolution de ce problème, les auteurs proposent un programme linéaire en nombres entiers et une heuristique à deux phases. La première phase consiste en la construction de tournées parallèles, et la deuxième en l'amélioration de ces tournées.

(Cappanera et Scutellà, 2013) proposent également un programme linéaire en nombres entiers. L'objectif est d'équilibrer la charge de travail du personnel soignant et de réduire leur temps d'attente entre deux visites consécutives. Les auteurs abordent la notion du pattern dans leur modélisation afin de pouvoir planifier les visites multiples des patients durant la semaine, en leur affectant une ou plusieurs ressources tout en prenant en considération la compatibilité de la qualification de la ressource avec le besoin du patient. Les auteurs cherchent à maximiser le facteur d'opérabilité minimal du personnel dans la semaine.
Nous avons adopté cette idée dans notre article en maximisant le facteur d'opérabilité minimal du personnel soignant dans la journée et ce pour garantir que toutes les ressources aient une charge équitable.

(Ben Bachouch et al., 2008) utilisent la programmation linéaire mixte, afin d'affecter et planifier les visites de chaque soignant et d'établir des tournées optimisées, tout en respectant les disponibilités des patients, les pauses repas pour le personnel, et les visites partagées. L'objectif est de réduire le coût relatif à la distance parcourue entre les domiciles des patients.

(Borsani et al., 2006) proposent une programmation linéaire mixte. Le problème consiste à choisir d'abord le personnel soignant de référence pour l'attribution des soins au patient sur un horizon de planification à court terme (maximum 15jours) et puis à concevoir la tournée de chaque ressource. Plusieurs critères sont considérés, tels que la qualification des soignants, les disponibilités des patients, la réduction du nombre de soignants pour chaque patient et la préférence des patients pour les jours de visites. La durée des soins est constante pour tous les patients.

(Thi viet Ly et Montemanni, 2013) proposent un modèle linéaire mixte, afin de trouver le meilleur planning tout en minimisant les coûts relatifs au non-respect des fenêtres de temps des patients et au dépassement des heures de travail du personnel soignant. Ils maximisent ainsi la loyauté entre patient-personnel et minimisent le nombre de visites non planifiées. Les auteurs prennent en considération la répartition équilibrée de la charge de travail du personnel ainsi que leur qualification.

(Rasmussen et al., 2012) modélisent le problème comme un problème de partitionnement sous contraintes et ont développé un algorithme de résolution «branch and price ». L'objectif est de minimiser le nombre de visites non planifiées dans la journée, de minimiser le coût

relatif à la distance parcourue et de maximiser la satisfaction des patients qui souhaitent être visités par le personnel de leur choix. Les auteurs supposent qu'un patient peut être visité plusieurs fois dans la journée, et prennent en considération les différentes dépendances qui puissent exister entre les multiples visites effectuées chez le même patient dans la journée (la synchronisation des activités, le chevauchement, l'écart minimal ou maximal entre deux visites…).

Dans le tableau Tab.2.1, nous présentons une comparaison entre les différents travaux cités ci-dessus. Nous mentionnons que ces approches ont été résolues par des méthodes exactes et/ou approchées.

| | Contraintes | | | | | | Critères | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Références | Qualification du personnel | Affinité | disponibilité des patients | Visite partagée | Pause repas | Horizon de planification | Temps/coût de voyage | Temps d'attente | Satisfaction du patient | Charge de travail | coût heure |
| Ben Bachouch et al., 2008 | | x | x | x | x | 5j | x | | | | |
| Cheng et Rich, 1998 | x | | x | | x | 1j | | x | | | x |
| Borsani et al., 2006 | x | x | x | | | 15j | | | x | x | |
| Cappanera et Scutellà, 2013 | x | | | | | 7j | | | | x | |
| Kergosien et al., 2009 | x | x | x | | | 1j | x | | | | |
| Thi Viet Ly et Montemanni, 2013 | x | x | x | | | 7j | | x | x | x | |
| Rasmussen et al., 2012 | x | x | x | x | | 1j | x | | x | | |
| Notre papier | x | x | x | x | x | 1j | x | x | x | x | |

**Tab 2.1 Contraintes et critères d'optimisation pris en considération**

Notre travail traite le problème de rationalisation des coûts liés à la prise en charge à domicile en tenant compte du facteur humain relatif : (1) au personnel soignant en leur assurant une charge de travail équitable, une pause repas et en minimisant leur temps d'attente, et (2) aux patients en leur permettant, dans la mesure du possible, d'être visités par le personnel de leur choix.

La satisfaction du patient a été rarement traitée dans la littérature. (Thi Viet Ly et Montemanni, 2013) et (Nickel et al., 2009) abordent le problème d'affinité ou ce qu'on appelle aussi la loyauté patient-personnel en minimisant le nombre de ressources visitant un patient ayant besoin de plusieurs soins dans la semaine. (Kergosien et al., 2009) traitent l'affinité en procédant à une pré-affectation du personnel choisi par les patients. (Rasmussen et al., 2012) traitent l'affinité patient–personnel dans le cadre de la planification quotidienne en rajoutant une pénalité dans la fonction objective quand un patient n'est pas visité par la ressource de son choix. (Yalcindag et al., 2014) considèrent que chaque nouveau patient admis dans le HAD est affecté à une ressource de référence ayant la compétence adéquate à son besoin.

L'originalité de notre approche, par rapport aux travaux existants est la prise en considération de l'ensemble des critères et contraintes mentionnés dans le tableau 2.1:

- Le temps de déplacement du personnel soignant.
- la visite partagée : un patient peut avoir besoin de plusieurs ressources.
- La répartition équilibrée de la charge de travail entre les ressources.
- la réduction du temps d'attente du personnel aux domiciles des patients.
- l'inclusion de la pause repas pour le personnel.
- l'affinité entre patient-personnel soignant.
- la prise en considération des compétences du personnel soignant, chaque patient ne peut être soigné que par la compétence adéquate à son besoin.
- La disponibilité des patients.

Nous supposons que tous les patients doivent être visités dans la journée, et souhaitent recevoir les soins d'une ou plusieurs ressources de leur choix. Nous ne pouvons pas toujours satisfaire l'ensemble des patients en leur affectant le personnel de leur choix.
Avec la notion du patient prioritaire (Un patient est considéré prioritaire si son projet thérapeutique est de longue durée ou si sa situation clinique est considérée critique), notre programme favorisera les solutions où les patients prioritaires sont visités par la ressource souhaitée.

## 3 DESCRIPTION DU PROBLEME

La gestion du planning des tournées du personnel soignant est une activité complexe à cause de la multitude de critères d'optimisation à prendre en considération. Notre objectif est de planifier et d'affecter le personnel soignant aux patients à domicile en respectant les contraintes de temps (fenêtre de temps), de compétence et d'affinité entre le personnel soignant et le patient, avec un coût minimal. En effet, dans un contexte budgétaire restrictif, il est naturel de vouloir rationaliser les coûts mais il est très important de tenir compte de l'aspect humain et social pour une meilleure prise en charge à domicile.

Dans cet article, nous ne traitons pas le problème du partitionnement géographique du territoire des patients en sous zones. Nous supposons que la structure HAD opère dans une seule et unique zone géographique.

Nous considérons un ensemble de patients ayant besoin d'un ensemble de services (soins). Chaque service est caractérisé par une durée de soins, un nombre de ressources demandées pour accomplir les soins, une compétence requise, une date de début au plus tôt et une date de début au plus tard du service.
Les ressources humaines travaillent à temps plein et sont caractérisées par une qualification allant de 1 (soins usuels) jusqu'à 5 (soins avancés). Les soins délivrés aux patients requièrent une compétence donnée comprise entre 1 et 5. Toute ressource ayant une qualification « c » Avec $1 \leq c \leq 5$, ne peut visiter que les patients ayant besoin d'un niveau de compétence inférieur ou égale à « c ».
Le personnel de la santé commence et termine sa tournée dans la structure HAD et ne doit pas dépasser une charge de travail maximale dans la journée (8h par jour). Il doit attribuer les soins aux patients en respectant les fenêtres de temps.
Le temps d'attente d'une ressource est le temps qui s'écoule entre la date d'arrivée de la ressource au domicile du patient et la date de début au plus tôt des soins.

La relation entre le professionnel de santé et le patient est le fondement de toute pratique médicale. Dans notre solution nous cherchons à satisfaire l'ensemble des patients en leur permettant d'être visité, dans la mesure du possible, par le personnel de leur choix.
Tous les patients doivent être soignés dans la journée. Nous avons opté pour la notion du patient prioritaire afin de favoriser les solutions qui satisferaient les patients dont la situation clinique est critique.
Pour le personnel soignant, nous souhaitons éviter des solutions où la charge de travail d'une ressource est largement plus grande que celle d'une autre. Nous cherchons également à minimiser le temps d'attente d'une ressource entre deux visites.

## 4 FORMULATION MATHEMATIQUE DU PROBLEME

Le modèle proposé est une extension du problème du voyageur de commerce avec fenêtres de temps mTSPTW avec prise en considération des contraintes spécifiques à l'HAD. Ce problème est considéré comme NP-difficile (Desrochers et al., 1988).

### *4.1.1 Notations et hypothèses:*

- Le nombre du personnel soignant : $N$.
- Le nombre de patients : $P$.
- $S = P + N$ , le nombre de patients réels et fictifs (le nombre de pause repas étant égal au nombre de ressources humaines).

Chaque ressource commence et termine sa tournée dans la structure HAD et dispose d'une pause repas dans la journée.
Nous considérons les pauses repas et la structure HAD comme des patients fictifs que toute ressource devrait visiter.

### *4.1.2 Indices*

**r, z**: Le personnel soignant
**i, j** : Les patients

### *4.1.3 Paramètres*

$[A_i , B_i]$ : Respectivement les dates de début au plus tôt et au plus tard du soin pour le patient $i$.
$A_i \geq 0 , B_i \geq 0 , B_i \geq A_i$
$Dr_i$ : La durée du soin estimée pour le patient $i$.
$t_{i,j}$: La durée du trajet entre les patients $i$ et $j$.
$np_j$: Le nombre de personnel nécessaire pour la délivrance du soin au patient $i$.
$HV$ : Une grande valeur.
$Q_r$: La qualification de la ressource $r$.
$DMax$ : La charge de travail maximale autorisée dans la journée pour chaque ressource.
$Sk_i$ : Le niveau de compétence minimum requis par le patient $i$.
$aff_{r,i}$: La valeur booléenne qui représente l'existence de l'affinité entre la ressource $r$ et le patient $i$ ($aff_{r,i} = 1$ si le patient $i$ veut être soigné par la ressource $r$, non $aff_{r,i} = 0$).
$poids_i$: Le poids permettant de définir la priorité de chaque patient *i*.

### *4.1.4 Variables de décisions*

$$Y_{r,i,j} = \begin{cases} 1, & si\ la\ ressource\ r\ visite\ le\ patient\ j \\ & directement\ après\ le\ patient\ i \\ 0, & sinon \end{cases}$$

$W$: Le temps d'attente du personnel soignant au domicile des patients que nous cherchons à minimiser.

$$\forall r \in N \; W = \max_r W_r$$

Avec :
$\forall r \in N \quad \forall j \neq i$

$$W_r = d_{r,s+1} - \sum_{i=0}^{s} \sum_{j=1}^{s+1} Y_{r,i,j}.(Dr_i + t_{i,j})$$

$d_{ri}$ : La date d'arrivée de la ressource $r$ chez le patient $i$.
St : Le facteur de satisfaction minimale des patients visités par toute ressource.
$Wl$: Le facteur d'opérabilité minimal du personnel soignant qu'on cherche à maximiser afin d'assurer une charge de travail équitable pour tout le personnel.

$$\forall r \in N \quad Wl = \min_r Wl_r$$

$Wl_r$ : L'opérabilité de la ressource $r$ est donnée par la formule :

$$\forall r \in N \quad Wl_r = \frac{Dlr}{Dmax}$$

Avec : $Dlr = \sum_{i=0}^{s} \sum_{j=1}^{s+1} Y_{r,i,j}.(D_i + t_{ij})$

$Dl_r$: La charge de travail de la ressource r dans la journée qui représente la durée des soins délivrés à l'ensemble des patients plus le temps de voyage.

### *4.1.5 Le Modèle mathématique*

La formulation du programme linéaire mixte est la suivante :

Minimiser F=

$$\alpha \sum_{r=1}^{N} \sum_{i=0}^{s+1} \sum_{j=0}^{s+1} t_{i,j}.Y_{r,i,j} + \beta.W - \gamma.Wl - \delta.St$$

F est la combinaison de quatre critères pondérés. La somme de tous les poids est égale à 1. C'est au décideur de choisir la valeur de chaque poids.

Notre objectif est de minimiser le temps de voyage entre les domiciles des patients, minimiser le temps d'attente de la solution (W), maximiser la satisfaction des patients ($St$), et le facteur d'opérabilité minimal de chaque ressource afin de garantir une charge de travail table ($Wl$).

Sous les contraintes :

$$\forall j \in \{1 \ldots . S+1\}\, i \neq j \quad \sum_{r=1}^{N} \sum_{i=0}^{s+1} Y_{r,i,j} = nv_j \qquad (1)$$

$$\forall i \in \{0 \ldots . S\} \quad i \neq j \quad \sum_{r=1}^{N} \sum_{j=1}^{s+1} Y_{r,i,j} = nv_i \qquad (2)$$

$$\forall r \in N \ \forall h \in \{1..S\} \forall h \neq j \forall h \neq i$$
$$\sum_{i=0}^{s} Y_{r,i,h} = \sum_{j=1}^{s+1} Y_{r,h,j} \qquad (3)$$

$$\forall r \in N \ \forall i \in \{0..S\}, i \neq j \quad \sum_{j=1}^{s+1} Y_{r,i,j} \leq 1 \qquad (4)$$

$$\forall r \in N \ \forall j \in \{1..S+1\}, i \neq j \quad \sum_{i=0}^{s} Y_{r,i,j} \leq 1 \qquad (5)$$

$$\forall r \in N \ \sum_{j=0}^{s+1} Y_{r,s+1,j} = 0 \qquad (6)$$

$$\forall r \in N \ \sum_{j=1}^{p} Y_{r,0,j} = 1 \qquad (7)$$

$$\forall r \in N \ \sum_{i=1}^{S} Y_{r,i,s+1} = 1 \qquad (8)$$

$$\forall r \in N \ \forall i \in \{0..S+1\} \ d_{r,i} \geq A_i \qquad (9)$$

$$\forall r \in N \ \forall i \in \{0..S+1\} \ d_{r,i} \leq B_i \qquad (10)$$

$$\forall r \in N \ \forall i \in \{0..S+1\} \forall j \in \{0..S+1\} \forall i \neq j$$
$$d_{r,j} \geq d_{r,i} + Dr_i + t_{i,j} - \left(1 - Y_{r,i,j}\right).HV \qquad (11)$$

$$\forall r, z \in N \ \forall i \in P \ \forall nv_i \geq 2$$
$$d_{r,i} = d_{z,i} \qquad (12)$$

$$\forall r \in N \ \forall j \neq i \ \forall aff_{r,i} \geq 1$$
$$\sum_{i=0}^{s} \sum_{j=1}^{s+1} Y_{r,i,j}.poids_j \geq St. \qquad (13)$$

$$\forall r \in N \ \forall j \neq i$$
$$d_{r,s+1} - \sum_{i=0}^{s} \sum_{j=1}^{s+1} Y_{r,i,j}.(Dr_i + t_{i,j}) \leq W \qquad (14)$$
$$\forall r \in N \ \forall j \neq i$$
$$\sum_{i=0}^{s} Wl_r \geq Wl \qquad (15)$$

$$\forall r \in N \ \forall i, j \in P \ \forall Sk_i > Q_r$$
$$Y_{r,i,j} = Y_{r,j,i} = 0 \qquad (16)$$

$$\forall r \in N$$
$$\sum_{i=p+1}^{s} \sum_{j=1}^{s+1} Y_{r,i,j} = 1 \qquad (17)$$

$$\forall r \in N$$
$$\sum_{i=0}^{p} \sum_{j=p+1}^{s} Y_{r,i,j} = 1 \qquad (18)$$

$$\forall r \in N, \forall i \in \{1..S+1\} \quad d_{r,i} > 0 \qquad (19)$$

Les contraintes (1) et (2) assurent que chaque patient soit visité par le nombre de ressources demandé pour la délivrance des soins.

(3) assure la conservation des flux, si une ressource entre dans le domicile d'un patient, elle doit en sortir

(4) et (5) assurent que chaque patient soit visité au plus une fois par la même ressource.

(6), (7) et (8) garantissent que chaque ressource commence et termine sa tournée à la structure HAD.

(9) et (10) assurent que la date d'arrivée de la ressource chez le patient $i$ est comprise dans la fenêtre de temps $[A_i, B_i]$ correspondant à la disponibilité du patient.

(11) calcule la date d'arrivée de la ressource r chez le patient i.

(12) Cette contrainte assure que les ressources demandées dans le cas d'une visite partagée arrivent au même moment.

(13) permet de satisfaire l'ensemble des patients en leur affectant le personnel de leur choix. En cas de non faisabilité, elle permet de satisfaire les patients les plus prioritaires.

La variable « $st$» est introduite dans la fonction objective. Le but est de maximiser le minimum de la somme des poids des patients visités par une ressource avec laquelle ils ont une affinité.

Le poids de chaque patient représente sa priorité par rapport aux autres.

(14) permets d'éviter des solutions avec un temps d'attente très grand chez les patients. La différence entre la date d'arrivée de la ressource chez le patient et son heure de visite au plus tôt ne devrait pas être très grande. Nous cherchons à minimiser le temps d'attente globale dans la fonction objective via la variable W.

(15) assure que la charge de travail de chaque ressource soit supérieure au facteur d'opérabilité minimal qu'on cherche à maximiser dans la fonction objective.

Cette contrainte évite d'avoir des solutions, ou une ressource à une charge de travail moins importante par rapport aux autres et permet donc de garantir une charge de travail équitable pour tout le personnel.

(16) assure que chaque patient ne soit visité que par le professionnel de santé ayant la qualification nécessaire pour la réalisation de son soin.

(17) et (18) assurent que chaque ressource ait une pause repas pendant la journée.

(19) assure que la date d'arrivée du personnel soignant chez le patient soit positive

## 5 RESULTATS

Notre modèle mathématique est résolu avec le solveur *ILOG CPLEX optimization Studio*. Nous présentons dans cette section nos expérimentations réalisées sur un ordinateur Intel® Core™ i7-2600 CPU avec 3,40 GHz Et 8 Go de mémoire.

### 5.1 Instance de simulation

Dans, le tableau 5-1, nous présentons les données relatives aux patients. Chaque patient $i$ est caractérisé par une date de début au plus tôt de soins $A_i$, une date de début au plus tard $B_i$, une durée du soin $Dr_i$, un poids $poids_i$, une qualification requise $q_j$ et le nombre de ressources $np_i$ dont il a besoin.

| P | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A** | 60 | 120 | 140 | 360 | 140 | 30 | 300 | 400 |
| **B** | 120 | 180 | 250 | 450 | 250 | 150 | 360 | 580 |
| **D** | 30 | 15 | 45 | 30 | 60 | 30 | 45 | 15 |
| **np** | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| **q** | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| **poids** | 1 | 1 | 5 | 0 | 0 | 2 | 9 | 9 |

**Tableau 5-1 : Données relatives aux patients**

L'affinité entre le personnel soignant et les patients est présentée dans le tableau 5-2 par une relation binaire. (1 si affinité existe, 0 sinon)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **R1** | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| **R2** | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| **R3** | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |

**Tableau 5-2 : Affinité entre le patient et le personnel**

Les compétences du personnel de la santé sont données par le tableau 5-3. La qualification du personnel varie entre 1 (soins usuels) et 5 (soins avancés).

| R1 | R2 | R3 |
|---|---|---|
| 3 | 4 | 5 |

**Tableau 5-3 : Qualification du personnel**

Le trajet entre les différents domiciles des patients est donné par le tableau 5-4. Le HAD est d'indice 0 (P0).

| | P0 | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **P0** | 0 | 15 | 45 | 20 | 18 | 26 | 21 | 30 | 25 |
| **P1** | 15 | 0 | 28 | 31 | 44 | 27 | 45 | 24 | 36 |
| **P2** | 45 | 28 | 0 | 45 | 20 | 16 | 32 | 42 | 35 |
| **P3** | 20 | 31 | 45 | 0 | 26 | 20 | 28 | 29 | 18 |
| **P4** | 18 | 44 | 20 | 26 | 0 | 40 | 45 | 37 | 25 |
| **P5** | 26 | 27 | 16 | 20 | 40 | 0 | 24 | 20 | 20 |
| **P6** | 21 | 45 | 32 | 28 | 45 | 24 | 0 | 31 | 35 |
| **P7** | 30 | 24 | 42 | 29 | 37 | 20 | 31 | 0 | 23 |
| **P8** | 25 | 36 | 35 | 18 | 25 | 20 | 35 | 23 | 0 |

**Tableau 5-4 : Matrice des distances entre les domiciles des patients et le HAD**

Le tableau 5-5 présente la combinaison des poids que nous avons utilisés pour réaliser nos essais.
La valeur des poids reflète la décision du manager, et le critère qu'il voudrait satisfaire. Dans une structure HAD, il est souhaitable de trouver la meilleure combinaison pour satisfaire les différents acteurs de l'HAD.

| Poids / Combinaison | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | $\delta$ |
|---|---|---|---|---|
| **C1** | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| **C2** | 0.7 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| **C3** | 0.1 | 0.7 | 0.1 | 0.1 |
| **C4** | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 0.1 |
| **C5** | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.7 |

**Tableau 5-5 : Combinaisons des poids**

Le tableau 5-6 présente nos résultats obtenus avec la première combinaison des poids.
Les lignes représentent les infirmiers, et les colonnes représentent les patients. Nous présentons l'affectation des patients aux infirmiers et le temps d'arrivée du personnel de la santé chez le patient.

| | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P | P0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 60 | 120 | | | | | 319 | | 240 | 394 |
| **2** | | | | 360 | 140 | 30 | | 415 | 282 | 460 |
| **3** | | | 186 | 360 | | 30 | | 415 | 240 | 460 |

**Tableau 5-6 Temps d'arrivée en secondes et affectation du personnel soignant aux patients**

Dans le cas de la visite partagée, les ressources arrivent au même moment au domicile du patient.
Nous remarquons aussi que le temps d'arrivée du personnel de la santé chez le patient respecte les fenêtres de temps, et chaque ressource dispose d'une pause repas durant la journée (P).

| N | P | Comb | Coût | W | Wl | St | CPU Time |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **3** | **8** | C1 | 410 | 132 | 0.64 | 20 | 1.06s |
| **3** | **8** | C2 | 393 | 209 | 0.66 | 20 | 1.15s |
| **3** | **8** | C3 | 527 | 89 | 0.7 | 15 | 1.11s |
| **3** | **8** | C4 | 540 | 130 | 0.8 | 11 | 1.16s |
| **3** | **8** | C5 | 424 | 169 | 0.7 | 21 | 1.91s |

**Tableau 5-7 : Résultats**

La priorisation des critères de satisfaction des patients, de temps d'attente et de la charge de travail n'affecte pas d'une manière importante le temps de déplacement et le temps de résolution (tableau 5-7)

### 5.2 Analyse des données sur des instances variées

Pour prouver la performance de notre modèle nous avons réalisé un ensemble d'essais en faisant varier le nombre de ressources humaines et le nombre de patients. La combinaison des poids utilisée est la suivante ($\alpha = 0.25$, $\beta = 0.25, \gamma = 0.25$, $\delta$=0.25). Le temps limite de résolution est estimé à 60min.
Pour tous les scénarii étudiés, la durée de travail maximale de chaque ressource est de 480min (8h de travail par jour). La durée d'un soin varie entre 15min et 60min.
Le temps de voyage entre les domiciles des patients varie entre 15 et 45min. Chaque patient devrait avoir une affi-

nité avec au minimum deux ressources. Le poids de chaque patient varie entre 0 (non prioritaire) et 9 (prioritaire), il dépend de sa priorité par rapport à sa condition clinique ou psychologique. Le nombre de compétences considérés varie entre 1 (soins usuels) et 5 (soins avancés).
L'écart des fenêtres de temps varie entre 120 min et 180 min.

Le tableau 5.8 représente les résultats obtenus sur différentes instances, et la variation des critères optimisés en fonction du nombre de patients et celui des ressources humaines.

| N | P | coût | W | Wl | St | CPU |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 12 | 506 | 150 | 0.22 | 18 | 20. 71 **s** |
| 5 | 15 | 615 | 146 | 0. 38 | 15 | 106.61 **s** |
| 5 | 20 | 705 | 120 | 0.40 | 14 | 820.06 **s** |
| 5 | 23 | 724 | 128 | 0.48 | 27 | 2778.8 **s** |
| 5 | 25 | 760 | 115 | 0.5 | 26 | 3278.91 **s** |
| 4 | 30 | 853 | 46 | 0.87 | 22 | 3610.99 **s** |
| 7 | 29 | 851 | 130 | 0.32 | 25 | 3608.07 **s** |
| 10 | 20 | 844 | 213 | 0.20 | 30 | 3609.47 **s** |

**Tableau 5-8 : Expérimentation en changeant le nombre de patients et de ressources**

Les résultats relatifs à la satisfaction des patients dépendent principalement des données. Chaque patient a un poids qui représente sa priorité. Le principe est de maximiser les patients satisfaits visités par un personnel de leur choix. La variation des résultats d'une instance à une autre dépend essentiellement des données relatives au poids de chaque patient.
La valeur du facteur d'opérabilité minimal des ressources humaines «*Wl*» varie en fonction du nombre de ressources humaines et des patients mais aussi de la durée des soins chez les patients.
Le temps d'attente est fortement lié au pourcentage de couverture des patients par les ressources humaines. Le fait d'avoir plusieurs ressources qui opèrent pour peu de patients engendre un temps d'attente plus grand.
Le temps de déplacement est lié au nombre de patients pris en charge et le nombre du personnel soignant.
Finalement, Le programme a prouvé sa performance en termes de temps de calcul pour les petites instances. Pour les grandes instances, le temps de calcul est relativement important.

## 6 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons présenté dans cet article, un problème de planification quotidienne des tournées du personnel soignant chez les patients à domicile. Nous avons proposé un modèle linéaire mixte pour satisfaire (1) les patients (la disponibilité des patients, les préférences relatives au personnel de la santé, le niveau de compétence adéquat au besoin du patient), et (2) le personnel de la santé (pause repas, charge de travail équilibrée, temps d'attente minimal) tout en minimisant les coûts relatifs aux déplacements.
Notre programme permet d'attribuer les soins à tous les patients et de leur affecter dans la mesure du possible le personnel de leur choix dont la qualification répond à leur besoins. . La valeur des poids reflète la décision du manager, et le critère qu'il voudrait le plus satisfaire. Le programme a prouvé sa performance en termes de temps de calcul sur les petites instances. Pour les grandes instances, le temps de calcul est important. Dans ce cas, une heuristique est nécessaire pour remédier à ce problème.

Une extension possible de notre modèle est la prise en compte des équipes pluridisciplinaires. Un patient pourrait avoir besoin de différentes compétences au même moment (médecin, infirmier, aide-soignant).
L'insertion des fenêtres de temps pour les ressources humaines est concevable afin de respecter leurs préférences en ce qui concerne les horaires de travail.
Egalement, l'une des perspectives de ce travail est la prise en considération d'un horizon de planification de longue durée en améliorant la notion du patient prioritaire et l'affinité patient-ressource afin d'assurer le respect de l'affinité pour un patient nécessitant des soins récurrents pendant une longue période.

La prise en considération de l'incertitude relative à la disponibilité des patients et au temps de voyage entre les domiciles des patients est également l'une des perspectives de ce travail.

## REMERCIEMENTS

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une thèse de doctorat portant sur l'hospitalisation à domicile, financée par la région Nord Pas de Calais et l'université d'Artois.

## REFERENCES

Ben Bachouch, R., Guinet, A., Hajri-Gabouj S., 2008. Planification de la tournée des infirmiers dans une structure de soins à domicile, Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH08), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 4-6 Septembre 2008, Suisse.

Benzarti, E., Sahin, E., and Dallery, Y., 2010b. A literature review on Operations management based models developed for HHC services. European Conference of Operational Research Applied to Health Care, Genova, Italy.

Benzarti E., Sahin E. and Dallery, Y. 2010c. Facteurs de complexité auxquels la gestion des opérations doit faire face dans les établissements d'Hospitalisation A Domicile. Conférence Francophone de Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers (GISEH), Clermont-Ferrand, France.

Blais, M, Lapierre, S. D., Laporte, G., 2003. Solving a home care districting problem in an urban setting, Journal of the Operational Research Society 54, p. 1141–1147.

Boldy, D., and Howell, N., 1980. The Geographical Allocation of Community Care Resources-A Case Study. The Journal of the Operational Research Society, vol 31, pp 123-129.

Borsani V., Matta A., Beschi G., Sommaruga F., 2006. A home care scheduling model for hu-man resources. Service Systems and Service Management, International Conference, 449-454.

Busby, C.R. and Carter, M.W., 2006. A Decision Tool for Negotiating Home Care Funding Levels in Ontario. HHC Services Quarterly, Vol N°25, p. 91-106.

Cappanera, P., Scutellà, M.G, 2013. Joint assignment, scheduling and routing models to home care optimization: a pattern based approach University DI PISA, Technical Report : TR-13-05.

Cheng, E., Rich, J. L. 1998, A Home Health Care Routing and Scheduling Problem. Technical report CAAM TR-04. Rice University.

Chiba, M., Itabashi, G., Takhashi, K., Kato, Y., 2005. A support system for home care service based on multi-agent system, International Conference on Information Communication and Signal Processing, p. 1052-1056.

Desrochers, M. , J.K. Lenstra , Savelsbergh, M.W.P. , Soumis, F. 1988. Vehicle routing with time windows: Optimization and approximation 1988 - Vehicle routing: methods and studies Stud. Management Sci. Systems, 16, p.65–84.

Durant, N., Lannelongue, C., Legrand, P., Marsala, V., 2010. Hospitalisation à domicile HAD, Rapport de l'Inspection générale des affaires sociales 2010, France.

Hertz, A., Lahrichi, N., 2006. Client assignment algorithms for home care services, rapport technique, Département de mathématiques et de génie industriel, Ecole Polytechnique de Montréal.

Kergosien, Y., Lente, C., Billaut, JC. , 2009. Home health care problem: an extended multiple traveling salesman problem. In: Multidisciplinary international conference on scheduling: theory and applications (MISTA 2009), pp 85–92.

Lahrichi N., Lapierre S.D., Hertz A., Talib A. and Bouvier L., 2006. Analysis of a territorial approach to the delivery of nursing home care services based on historical data. Journal of Medical Systems, Vol N°30, p. 283-291.

Rasmussen, MS., Justesen, T., Dohn A, Larsen J. 2012. The home care crew scheduling problem: preference-based visit clustering and temporal dependencies. Eur J Oper Res 219:598–610.

Thi Viet Ly, N. Montemanni, R. 2013.Scheduling and routing in Home Health Care Service. Proceedings of the finnish Operations Research Society 40th Anniversary Workshop – FORS40, Lappeenranta 20.-21.8.2013.

Thomsen, K., 2006. Optimization on home care. Thesis Report, Informatics and Mathematical Modeling, Technical University of Denmark. Smeenk F. W. J. M., De Witte L. P., Van Haastregt J. C. M., Schipper R. M., Biezemans H. P.H.

Yalcindag, S., Matta, A., Sahin, E., 2012. Human Resource Scheduling and Routing Problems in Home Health Care Context: A Literature Review. Technical report, Laboratoire Génie Industriel, Ecole Centrale Paris.

Yalcindag, S., Matta, A., Sahin, E., Shanthikumar, J.G., 2014. A Two-Stage Approach for Solving Assignment and Routing Problems in Home Health Care Services. Proceedings of the International Conference on Health Care Systems Engineering, pp 47-59.