



HAL
open science

Conception des structures de soins à domicile

Carlos Rodriguez Verjan

► **To cite this version:**

Carlos Rodriguez Verjan. Conception des structures de soins à domicile. Gestion et management. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2013. Français. NNT : 2013EMSE0683 . tel-00872856

HAL Id: tel-00872856

<https://theses.hal.science/tel-00872856>

Submitted on 20 Nov 2013

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.

NNT : 2013 EMSE 0683

THÈSE

présentée par

Carlos RODRIGUEZ VERJAN

pour obtenir le grade de
Docteur de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne

Spécialité : Génie Industriel

CONCEPTION DES STRUCTURES DE SOINS A DOMICILE

soutenue à Saint-Etienne, le 26 Février 2013

Membres du jury

Président :	Meihel GOURGAND	Professeur, Université Blaise Pascal, Clermont Ferrand
Rapporteurs :	Maria DI MASCOLO	Chargée de Recherche CNRS, G-SCOP, Grenoble
	Andrea MATTA	Professeur, Politecnico de Milano, Milan
Jury de thèse :	Angel RUIZ	Professeur, Université Laval, Québec
Directeur de thèse :	Xiaolan XIE	Professeur, Ecole Nationale Supérieure de Mines de Saint-Etienne, Saint-Etienne
Co-Directrice de thèse	Valérie BUTHION	Maître de Conférences, Université Lumière Lyon 2, Lyon
Co-Encadrant de thèse	Vincent AUGUSTO	Professeur associé, Ecole Nationale Supérieure de Mines de Saint-Etienne, Saint-Etienne

Spécialités doctorales :
 SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX
 MECANIQUE ET INGENIERIE
 GENIE DES PROCEDES
 SCIENCES DE LA TERRE
 SCIENCES ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT
 MATHEMATIQUES APPLIQUEES
 INFORMATIQUE
 IMAGE, VISION, SIGNAL
 GENIE INDUSTRIEL
 MICROELECTRONIQUE

Responsables :
 K. Wolski Directeur de recherche
 S. Drapier, professeur
 F. Gruy, Maître de recherche
 B. Guy, Directeur de recherche
 D. Graillot, Directeur de recherche
 O. Roustant, Maître-assistant
 O. Boissier, Professeur
 J.C. Pinoli, Professeur
 A. Dolgui, Professeur

EMSE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

AVRIL	Stéphane	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
BATTON-HUBERT	Mireille	PR2	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BENABEN	Patrick	PR1	Sciences et génie des matériaux	CMP
BERNACHE-ASSOLLANT	Didier	PR0	Génie des Procédés	CIS
BIGOT	Jean Pierre	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
BILAL	Essaid	DR	Sciences de la Terre	SPIN
BOISSIER	Olivier	PR1	Informatique	FAYOL
BORBELY	Andras	MR(DR2)		SMS
BOUCHER	Xavier	PR2	Génie Industriel	FAYOL
BRODHAG	Christian	DR	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
BURLAT	Patrick	PR2	Génie Industriel	FAYOL
COLLOT	Philippe	PR0	Microélectronique	CMP
COURNIL	Michel	PR0	Génie des Procédés	DIR
DARRIEULAT	Michel	IGM	Sciences et génie des matériaux	SMS
DAUZERE-PERES	Stéphane	PR1	Génie Industriel	CMP
DEBAYLE	Johan	CR	Image Vision Signal	CIS
DELAFOSSÉ	David	PR1	Sciences et génie des matériaux	SMS
DESRAYAUD	Christophe	PR2	Mécanique et ingénierie	SMS
DOLGUI	Alexandre	PR0	Génie Industriel	FAYOL
DRAPIER	Sylvain	PR1	Mécanique et ingénierie	SMS
FEILLET	Dominique	PR2	Génie Industriel	CMP
FOREST	Bernard	PR1	Sciences et génie des matériaux	CIS
FORMISYN	Pascal	PR0	Sciences et génie de l'environnement	DIR
FRACZKIEWICZ	Anna	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GARCIA	Daniel	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
GIRARDOT	Jean-jacques	MR(DR2)	Informatique	FAYOL
GOEURIOT	Dominique	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
GRAILLOT	Didier	DR	Sciences et génie de l'environnement	SPIN
GROSSEAU	Philippe	DR	Génie des Procédés	SPIN
GRUY	Frédéric	PR1	Génie des Procédés	SPIN
GUY	Bernard	DR	Sciences de la Terre	SPIN
GUYONNET	René	DR	Génie des Procédés	SPIN
HAN	Woo-Suck	CR		SMS
HERRI	Jean Michel	PR1	Génie des Procédés	SPIN
INAL	Karim	PR2	Microélectronique	CMP
KLOCKER	Helmut	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
LAFOREST	Valérie	MR(DR2)	Sciences et génie de l'environnement	FAYOL
LERICHE	Rodolphe	CR	Mécanique et ingénierie	FAYOL
LI	Jean Michel		Microélectronique	CMP
MALLIARAS	Georges	PR1	Microélectronique	CMP
MOLIMARD	Jérôme	PR2	Mécanique et ingénierie	CIS
MONTHEILLET	Franck	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
PERIER-CAMBY	Laurent	PR2	Génie des Procédés	DFG
PIJOLAT	Christophe	PR0	Génie des Procédés	SPIN
PIJOLAT	Michèle	PR1	Génie des Procédés	SPIN
PINOLI	Jean Charles	PR0	Image Vision Signal	CIS
ROUSTANT	Olivier	MA(MDC)		FAYOL
STOLARZ	Jacques	CR	Sciences et génie des matériaux	SMS
SZAFNICKI	Konrad	MR(DR2)	Sciences et génie de l'environnement	CMP
TRIA	Assia		Microélectronique	CMP
VALDIVIESO	François	MA(MDC)	Sciences et génie des matériaux	SMS
VIRICELLE	Jean Paul	MR(DR2)	Génie des Procédés	SPIN
WOLSKI	Krzysztof	DR	Sciences et génie des matériaux	SMS
XIE	Xiaolan	PR1	Informatique	CIS

ENISE : Enseignants-chercheurs et chercheurs autorisés à diriger des thèses de doctorat (titulaires d'un doctorat d'État ou d'une HDR)

FORTUNIER	Roland	PR	Sciences et Génie des matériaux	ENISE
BERGHEAU	Jean-Michel	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
DUBUJET	Philippe	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
LYONNET	Patrick	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
SMUROV	Igor	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
ZAHOUANI	Hassan	PU	Mécanique et Ingénierie	ENISE
BERTRAND	Philippe	MCF	Génie des procédés	ENISE
HAMDI	Hédi	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
KERMOUCHE	Guillaume	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
RECH	Joël	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
TOSCANO	Rosario	MCF	Mécanique et Ingénierie	ENISE
GUSSAROV	Andrey	Enseignant contractuel	Génie des procédés	ENISE

PR 0	Professeur classe exceptionnelle	Ing.	Ingénieur
PR 1	Professeur 1 ^{ère} classe	MCF	Maître de conférences
PR 2	Professeur 2 ^{ème} classe	MR (DR2)	Maître de recherche
PU	Professeur des Universités	CR	Chargé de recherche
MA (MDC)	Maître assistant	EC	Enseignant-chercheur
DR	Directeur de recherche	IGM	Ingénieur général des mines

SMS	Sciences des Matériaux et des Structures
SPIN	Sciences des Processus Industriels et Naturels
FAYOL	Institut Henri Fayol
CMP	Centre de Microélectronique de Provence
CIS	Centre Ingénierie et Santé

Table des matières

1	Introduction Générale	1
1.1	Introduction Générale	1
1.2	Objectifs scientifiques	3
1.3	Plan de la thèse	4
2	Contexte et état de l'art général	7
2.1	Introduction	7
2.2	Alternatives à l'hospitalisation traditionnelle	9
2.2.1	Hospitalisation à domicile (HAD)	9
2.3	Projet OSAD	15
2.4	Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile	16
2.4.1	Stratégie de recherche bibliographique	17
2.4.2	Comparaisons des résultats de santé	19
2.4.3	Comparaisons du point de vue du patient	20
2.4.4	Comparaisons du Point de Vue économique	23
2.5	Positionnement générale de la thèse et stratégie adoptée	32
2.6	Mise en Œuvre	33
3	Localisation des structures de soins médicaux à domicile	35
3.1	Introduction sur la localisation des Structures de SMAD	35
3.2	État de l'art sur la localisation d'installations	36
3.2.1	Introduction	36
3.2.2	Modèles de base de Localisation	36
3.2.3	Problèmes de couverture	41
3.2.4	Localisation de structures à capacité illimitée	45
3.2.5	Applications au système de santé	48
3.3	Modèle mono-période pour la localisation de structures de SMAD	49
3.3.1	Modélisation mathématique	49
3.3.2	Performance du modèle	52
3.3.3	Application du modèle à un cas réel	55
3.3.4	Expérimentation et résultats	58
3.3.5	Discussion	60
3.4	Modèle multi-période pour la localisation de structures de SMAD	61
3.4.1	Performance du modèle	63
3.4.2	Application du modèle à un cas réel	64
3.4.3	Expérimentation et résultats	64
3.4.4	Discussion	68
3.5	Conclusions et perspectives	69

4	Choix des activités et la couverture épidémiologique et spatiale d'une structure de SMAD	75
4.1	Introduction et contexte	75
4.2	Activités fondamentales	76
4.3	Modélisation mathématique	77
4.3.1	Modèles avec remboursement par processus	79
4.3.2	Modèles avec remboursement par traitement	81
4.3.3	Expérimentation et résultats	81
4.3.4	Conclusions et perspectives	90
5	Dimensionnement des ressources humaines d'une structure de SMAD avec demandes incertaines	93
5.1	Introduction et Contexte	93
5.2	Présentation du problème	94
5.3	Méthode de résolution	95
5.3.1	Problème Maître	97
5.3.2	Sous-problème journalier d'un scénario et d'une ressource	98
5.3.3	Génération des scénarios	102
5.4	Plan d'expériences	103
5.5	Résultats et Conclusions	105
5.5.1	Temps de Calcul	105
5.5.2	Cas I	105
5.5.3	Cas II	109
5.5.4	Cas III	111
5.5.5	Cas IV	114
5.5.6	Comparaison entre les types de demande journalières	115
5.5.7	Conclusion et Perspectives	117
A	Définitions	123
B	Information Projet OSAD	125
C	Valeurs des paramètres des applications réels	129
C.1	Problème localisation mono-période	129
C.2	Choix des activités et la couverture épidémiologique et spatiale d'une structure de SMAD	133
	Bibliographie	135

Introduction Générale

Sommaire

1.1 Introduction Générale	1
1.2 Objectifs scientifiques	3
1.3 Plan de la thèse	4

1.1 Introduction Générale

La question de l'accès au soin est cruciale dans notre société moderne. Ainsi, l'une des priorités des systèmes de santé du monde entier consiste à assurer la meilleure couverture possible pour la population afin de fournir des soins de qualité. Dans le document publié par l'IOM¹ [Reid 2005] six objectifs de qualité ont été identifiés dans les systèmes de santé du XXIème siècle : (i) la sécurité, (ii) l'efficacité, (iii) la concentration sur le patient, (iv) la pertinence dans le temps, (v) l'efficacité et (vi) l'équité. Par ailleurs, les coûts du système de santé ne cessent d'augmenter depuis plusieurs années [Fetter 1976], notamment à cause d'une demande toujours plus élevée, une population toujours plus vieillissante, et des soins toujours plus coûteux. Ainsi, l'enjeu économique est crucial, car les ressources permettant de satisfaire ces objectifs sont rares et limitées. En particulier, on s'intéresse à la rationalisation des ressources humaines et matérielles, au déploiement intelligent de ressources afin de limiter le temps de déplacement ou minimiser le coût des transports, l'affectation intelligente de la demande afin de minimiser la charge des ressources mises en œuvre.

Un effet évident de la demande accrue de services de santé est l'augmentation du taux d'occupation dans les hôpitaux. Pour faire face à cela, les structures de soins médicaux à domicile (SMAD) ont été créées. L'idée principale de ces structures consiste à contribuer à la maîtrise des flux des patients dans les hôpitaux, soit en autorisant la sortie anticipée des patients, soit en les orientant vers une structure différente de l'hôpital en amont. Ces structures ont grandi en nombre et en capacité au fil du temps : en seulement cinq ans, le nombre de structures d'hospitalisation à domicile en France a augmenté de 137%, s'élevant à 292 en 2010. Le nombre de

1. IOM : Institut de Médecine (*Institute Of Medicine*)

séjours complets² a augmenté de 237%, s'élevant à 122.834 en 2010 [ATIH 2011].

La principale différence entre la dispensation de soins à l'hôpital et au domicile est la suivante : le patient doit se déplacer et toutes les ressources nécessaires à son traitement se trouvent dans le même endroit, tandis que dans les soins délivrés au domicile, les ressources doivent être déplacées au chevet du patient. De nouveaux acteurs cruciaux font alors leur apparition dans un tel mode de prise en charge, tels les professionnels de santé libéraux. L'enjeu est d'être capable de délivrer ces soins avec la même qualité et les mêmes résultats de santé qu'à l'hôpital en utilisant moins de ressources, et donc en diminuant les coûts de prise en charge. Cependant, plusieurs verrous existent lorsque l'on parle de soins à domicile, tels que (sans être exhaustif) : (i) la gestion d'un pool de ressources humaines devant se déplacer sur l'ensemble d'un territoire, (ii) le choix entre les différents types de ressources humaines et matérielles pour réaliser certaines activités, ou encore (iii) le dimensionnement de ressources dans les structures de SMAD en tenant compte des incertitudes liées au volume de demande, au type de pathologies prises en charge, etc. Toutes ces difficultés produisent un environnement hautement aléatoire où il n'est pas facile de prendre de décisions.

Il existe différents types de structures de soins à domicile : l'Hôpital À Domicile (HAD), les réseaux de soins, et les Services de Soins Infirmiers À Domicile (SSIAD), entre autres. L'HAD est défini à la fois comme *une alternative de prise en charge* et comme *une structure organisationnelle*. L'HAD comme alternative de prise en charge est définie comme "l'ensemble des soins médicaux et paramédicaux délivrés à domicile à des malades dont l'état ne justifie pas le maintien dans une structure hospitalière. Ces soins doivent être d'une nature et d'une intensité comparables à ceux qui étaient susceptibles de leur être prodigués dans le cadre d'une hospitalisation traditionnelle."³ Les réseaux sont quant à eux des structures de coordination des acteurs libéraux, et les SSIAD sont des organisations d'infirmières qui délivrent certains soins infirmiers peu techniques chez le patient. Dans cette thèse, nous nous intéressons à la délivrance de soins médicaux à domicile sans nous limiter à une structure en particulier.

Dans ce contexte (augmentation de la demande, besoin de contrôler l'usage de ressources limitées, et changement dans le type d'offre) s'inscrit l'organisation du projet OSAD (Organisation des Soins À Domicile) avec le support de la région Rhône-Alpes. Cette région propose en effet une offre importante en matière de soins à domicile : le nombre de structures d'HAD est passé de 7 en 2005 à 26 en 2010. L'objectif principal du projet est "d'apporter des méthodes et outils issus du Génie Industriel en réponse aux problématiques majeures de gestion et de pilotage des

2. Les séjours complets sont ceux dont le mode de prise en charge ne change pas.

3. Circulaire du 12 mars 1986 relative à l'hospitalisation à domicile dans les établissements publics.

structures de prise en charge à domicile pour les soins complexes.”

Finalement, notons un autre type de difficulté plus abstraite, hors du sujet de cette thèse, mais qui mérite d’être souligné. Je voudrais inviter le lecteur à faire une pause avant d’entrer dans les détails de cette thèse pour réfléchir sur la question suivante : Quel est le bien qui est échangé dans ce système économique ? Une première réponse pourrait être la “*santé*”. Très vite, on se retrouve à se questionner sur ce que signifie avoir une “*bonne santé*”. Cette difficulté à définir l’objet économique génère d’autres problèmes tels que la définition de la qualité des soins prodigués, ou encore la satisfaction des patients. Comme exemple je suggère de réfléchir au rôle de la chimiothérapie dans le contexte des soins palliatifs (504 séjours en 2010 en France). Dans ce contexte il est très difficile de définir la satisfaction des patients, la qualité du service et même le degré d’implication du patient dans la définition de son propre traitement.

Prenant en compte tout cela il est nécessaire de développer des méthodes pour surmonter les difficultés exprimées ci-dessus. Cette thèse présentera de nouveaux modèles et méthodes issues de la recherche opérationnelle qui prennent en compte de nouveaux éléments et particularités du système de santé et aléas inhérents.

1.2 Objectifs scientifiques

Cette thèse aborde le problème de la pertinence économique des structures de soins à domicile à partir sur plusieurs niveaux organisationnels. Du point de vue stratégique, le problème de la viabilité économique est étroitement lié à la façon dont la chaîne d’approvisionnement est organisée. Au niveau tactique le problème est lié au choix dans la livraison des soins des activités à réaliser, le type de ressources à utiliser (personnel de la structure ou libéraux), la couverture épidémiologique et spatiale. Enfin, au niveau opérationnel, le problème est de garantir la couverture face aux incertitudes de la demande.

Plus en détail, la question scientifique du point de vue stratégique est de **fournir des modèles pour l’organisation de la chaîne logistique et des activités**, en particulier la localisation des structures et la répartition de la demande afin de minimiser les coûts de transport, la consommation de ressources, et la demande perdue. Il est important de prendre en compte dans ces modèles la localisation des structures concurrentes, la situation des bassins de santé, la disponibilité des ressources, et l’autorisation nécessaire pour répondre à certaines maladies.

D’autre part, au niveau tactique, nous nous intéresseront à la viabilité économique des structures, c’est à dire au **choix des activités assumées par la structure de SMAD, la couverture épidémiologiques et spatiale**. Le problème

consiste à définir quelles sont les maladies à traiter et quelles sont les activités clés pour servir cette demande, en utilisant des ressources propres ou libérales.

Enfin, du point de vue organisationnel, le problème est lié aux **dimensionnement des ressources avec prise en compte des incertitudes**, en particulier les incertitudes liées à la demande. Ce problème consiste à prévoir la quantité de ressources nécessaires pour assurer que la demande sera couverte dans une certaine proportion. La demande peut varier en terme de volume, de type de soins, et de localisation.

Il est important de noter que les problèmes présentés dans cette thèse ne sont pas les seuls existants : dans chaque niveau organisationnel on peut trouver de nombreux problèmes dans lesquels les méthodes de recherche opérationnelle peuvent être utilisées. Toutefois, nous pensons avoir traité trois problèmes cruciaux permettant d'assurer la viabilité économique de structures de SMAD, affectant par ailleurs une grande partie des établissements existants, dans l'espoir d'avoir un impact profond dans l'organisation et dans la façon de comprendre le système de santé.

1.3 Plan de la thèse

Cette thèse est organisée comme suit :

Dans le premier chapitre le contexte général de ce travail est présenté ainsi qu'une revue de la littérature des études qui comparent les structures d'hospitalisation traditionnelles avec les structures de soins à domicile. La première partie a pour objectif d'identifier les acteurs principaux et les enjeux du système de santé à domicile. Dans un second temps, l'objectif consiste à identifier plusieurs champs de recherche, comprendre les méthodologies pour comparer les structures et justifier l'approche scientifique soutenue dans cette thèse liée à la pertinence économique des structures de SMAD.

Dans le deuxième chapitre, le problème de la localisation de structures de soins médicaux à domicile sera traité. L'objectif est de donner des méthodes scientifiques pour la localisation de structures de soins médicaux à domicile qui minimisent le temps de déplacement des ressources, la demande perdue et répartissent la demande entre les différentes structures d'une même région.

Le choix des activités médicales et la couverture épidémiologique et spatiale seront discutés dans le troisième chapitre. Ce problème consiste à choisir quelles sont les demandes à satisfaire par les ressources internes ou par les ressources libérales en fonction de leurs caractéristiques. L'importance n'est pas seulement de donner des éléments de décision en matière de dimensionnement de ressources, mais aussi d'identifier quels sont les acteurs clés et de proposer une couverture optimale de la

demande sur le territoire.

Finalement le quatrième chapitre sera consacré au problème du dimensionnement des ressources humaines dans un contexte de demandes incertaines. Trois types d'incertitude sont prises en compte : (i) le volume de la demande, (ii) le type de soin, et (iii) la provenance de cette demande. Ce problème est intéressant puisqu'il affecte directement la viabilité économique de la structure et constitue un verrou scientifique important.

Enfin, nous concluons ce mémoire avec un bilan final du travail réalisé. Nous ouvrirons également quelques perspectives de recherche.

Contexte et état de l'art général

Sommaire

2.1	Introduction	7
2.2	Alternatives à l'hospitalisation traditionnelle	9
2.2.1	Hospitalisation à domicile (HAD)	9
2.3	Projet OSAD	15
2.4	Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile	16
2.4.1	Stratégie de recherche bibliographique	17
2.4.2	Comparaisons des résultats de santé	19
2.4.3	Comparaisons du point de vue du patient	20
2.4.4	Comparaisons du Point de Vue économique	23
2.5	Positionnement générale de la thèse et stratégie adoptée	32
2.6	Mise en Œuvre	33

2.1 Introduction

Même s'il n'existe pas un consensus à ce sujet, une différence existe entre les soins à domicile (SAD) et l'hospitalisation à domicile (HAD). Les structures de SAD offrent une large gamme de soins, allant des soins médicaux ou infirmiers caractérisés par une faible technicité, jusqu'à l'accompagnement psychologique et l'aide sociale. L'idée principale de l'HAD n'est pas de donner un statut médical aux soins à domicile, mais d'offrir une alternative à l'hospitalisation traditionnelle, pour permettre une sortie anticipée des patients de l'hôpital ou d'éviter complètement l'hospitalisation. Les personnes malades peuvent passer d'un mode de prise en charge à l'autre avec les mêmes intervenants (le même médecin traitant, les mêmes infirmières libérales, le même pharmacien) et les réglementations qui permettent de définir chacune des structures sont différentes d'un pays à l'autre. Une étude européenne [Tarricone 2008] sur le développement des soins à domicile en Europe montre combien il est difficile de séparer les SAD et l'HAD ainsi que de mettre en évidence leur capacité à éviter l'hôpital. Cette étude est centrée sur la prise en

charge des personnes âgées, l'aide sociale, les soins techniques légers et les soins de longue durée. De la même façon, dans [Lataste 1997], l'auteur identifie cette difficulté et propose de réserver l'appellation "SAD" pour les alternatives médicosociales et l'appellation "HAD" pour les alternatives exclusivement sanitaires. Notre intérêt se trouve dans la possibilité d'éviter l'hôpital ou permettre une sortie anticipée pour des soins techniquement complexes. Ainsi nous nous sommes concentrés dans ce travail sur les soins médicaux habituellement donnés à l'hôpital et qui peuvent être délivrés à la maison. Dans la suite, nous considérons que les SAD ne font pas seulement référence aux soins qui sont une alternative à l'hôpital, mais à la totalité des soins qui peuvent être délivrés au domicile. L'appellation "HAD" fait référence dans ce travail à la structure d'hospitalisation à domicile en France.

Nous introduisons en outre les SMAD, "Soins Médicaux À Domicile", car nous ne traitons pas la totalité des soins à domicile, mais juste ceux ayant un caractère médical. De plus, l'étude est indépendante de la structure et englobe l'HAD, les réseaux, ou n'importe qu'elle autre solution institutionnelle. Ce choix ne limite pas la généralité des méthodes proposés ni l'applicabilité des solutions.

Les soins à domicile représentent un mode de soins en expansion au fil du temps. Le nombre de séjours déclarés par les structures d'HAD en France a augmenté de 237% passant de 51.760 en 2005 à 122.834 en 2010 [ATIH 2011]. Dans un premier temps, ce type d'organisation était utilisé pour accomplir des tâches peu techniques, permettant de libérer de la place dans les hôpitaux pour de nouveaux patients. Aujourd'hui, les structures de SMAD proposent de plus en plus de soins complexes, tels que soins palliatifs, surveillance de grossesses à risques, nutrition parentérale, ou encore chimiothérapie. Dans ce chapitre, nous présentons une revue de la littérature où les structures traditionnelles sont comparées avec l'hospitalisation à domicile, permettant de mieux comprendre les différents enjeux économiques et sociaux des structures de SMAD.

Les SMAD sont souvent présentés comme un mode de soins important dans l'organisation du système de soins futur. Après plusieurs décennies durant lesquelles les hôpitaux ont été développés (améliorations techniques, dispositifs pour faire face à l'augmentation de la demande de soins), les tutelles commencent à investir dans les alternatives aux systèmes hospitaliers traditionnels. Pour certains praticiens, les soins à domicile sont un moyen de réduire les coûts des soins, ceci étant une préoccupation majeure aujourd'hui. D'autres sont motivés par l'amélioration de la satisfaction des patients sans augmenter le besoin de ressources.

Il existe beaucoup de raisons qui font des SMAD une alternative très intéressante aux hôpitaux traditionnels, comme par exemple : (i) l'accès au système de santé dans les régions rurales où il n'existe pas un volume suffisant de demande qui justifie l'implémentation de certaines structures hospitalières spécialisées ; (ii) une meilleure rotation de ressources à l'hôpital en mettant l'accent sur les soins tech-

niques complexes, (iii) la continuité des soins entre l'hôpital et le domicile, (iv) la satisfaction des patients dans certains cas, et (v) la réduction des coûts dans certaines conditions.

Cette étude est motivée par le vieillissement de la population et la prévalence de maladies comme le cancer et d'autres pathologies en augmentation [Davies 1998]. La demande de différentes structures d'hospitalisation augmente de façon concomitante, ce qui induit la nécessité d'optimiser les ressources.

Ce chapitre est organisé comme suit : une introduction sur les alternatives à l'hospitalisation traditionnelle est présentée dans la Section 2.2, suivie par la Section 2.3 qui présente le projet au sein duquel cette thèse a été développée. Une revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile est proposée dans la Section 2.4. Enfin, le positionnement de la thèse et la mise en œuvre sont présentés dans les Sections 2.5 et 2.6.

2.2 Alternatives à l'hospitalisation traditionnelle

Pendant des années, les hôpitaux ont été considérés comme des acteurs centraux du système de santé en France. Ils rassemblent les patients, les professionnels, le matériel médical, et les ressources du système de santé. Toutefois, les établissements hospitaliers ne sont pas adaptés pour certains types de traitements, comme par exemple les traitements de longue durée pour lesquels les activités de soins sont ponctuelles et durent peu (chimiothérapie, transfusion de sang pour les myélodysplasies ou transfusions récurrentes, rééducation après une chirurgie...).

Pour ces raisons, différentes alternatives ont été créées pour prendre en charge les patients dont les spécificités les rendent impropre à l'hospitalisation traditionnelle, d'abord avec la création des hôpitaux de jour et les soins ambulatoires, et ensuite avec les HAD et les réseaux de soins (entre autres). La création de ces structures permettent aux praticiens hospitaliers de se concentrer sur les soins nécessitant de hautes compétences ou un plateau technique. Différentes classifications de ces solutions alternatives ont été réalisées [Lataste 1997, Zerbib 1990]. Dans ce travail, nous nous concentrerons sur les structures de soins médicaux à domicile (SMAD) comme les HAD et les réseaux de soins, mais toutes les méthodes présentées pourraient être appliqués à d'autres type de structures après une adaptation.

2.2.1 Hospitalisation à domicile (HAD)

2.2.1.1 Définition de l'hospitalisation à domicile

Il existe une ambiguïté sur la définition de l'HAD due à une définition double : l'une définit un mode de prise en charge, ou alternative à l'hôpital, et l'autre dé-

finit une structure organisationnelle. L'*HAD* comme une alternative à l'hôpital a été défini dans la circulaire de 12 Mars 1986 : "l'hospitalisation à domicile couvre l'ensemble des soins médicaux et paramédicaux délivrés à domicile à des malades dont l'état ne justifie pas le maintien au sein d'une structure hospitalière. Ces soins doivent être d'une nature et d'une intensité comparables à ceux qui étaient susceptibles de leur être prodigués dans le cadre d'une hospitalisation traditionnelle." L'*HAD* en tant que structure organisationnelle est définie par la loi 91-748 de juillet 1991 : "les structures de HAD (...) permettent d'assurer au domicile du malade, pour une période limitée mais révisable en fonction de l'évolution de son état de santé, des soins médicaux et paramédicaux continus et nécessairement coordonnés. Ces soins se différencient de ceux habituellement dispensés à domicile par la complexité et la fréquence des actes."

2.2.1.2 Histoire de l'hospitalisation à domicile en France

Pour des informations plus détaillées sur les débuts de l'*HAD* en France, le lecteur est renvoyé aux ouvrages suivants : [Com-Ruelle L. 1993, Lataste 1997]. Il est cependant important de souligner certaines données qui nous aideront à comprendre cette évolution. La première expérience documentée en *HAD* menée en France date de 1951 à l'hôpital Tenon à Paris [Com-Ruelle L. 1993, Lataste 1997]. Au cours des années 60 deux structures ont été créées sous la loi de 1901 comme des associations : l'une créée par l'Assistance Publique et l'autre par l'Institut Gustave Roussy à Villejuif appelé "Santé-Service". En 1970, l'*HAD* obtient un statut juridique dans la loi hospitalière de la même année. Dans les années 80, l'*HAD* s'est peu développé ; au début des années 90, grâce à la loi n° 91-748 de juillet 1991 et les décrets du 2 octobre 1992, l'*HAD* est reconnue de manière officielle comme une alternative à l'hospitalisation traditionnelle. Finalement, la loi 2009-879 du 21 juillet 2009, connue comme loi "HPST" (Hôpital, Patients, Santé et Territoire) garantit l'appellation "HAD" dans l'article 4 et modifie le texte L-6111-1 du code de santé qui énonce les missions des établissements de santé en introduisant la délivrance de soins à domicile. Ceci donne un statut d'établissement des santé, équivalent aux hôpitaux, aux structures d'*HAD*.

2.2.1.3 Chiffres de l'HAD en France

L'*HAD* s'est fortement développée au cours de dernières années et s'est constituée comme l'une des alternatives principales aux soins médicaux délivrés dans les hôpitaux. Cette évolution est présentée dans le Tableau 2.1 : il y a eu une augmentation proche de 150% dans le nombre d'établissements, de journées, de séjour et séjour complets déclarés par les structures. On peut voir aussi que l'âge moyen se trouve autour de 63 ans et a connu une augmentation de 5%. Ceci pourrait être un indice que les patients pris en charge à domicile sont de plus en plus âgés ou que les modes de prise en charge comme les soins palliatifs augmentent. L'indice

de Karnofsky, qui mesure l'état global de santé des patients, reste autour de 50 ("requiert une assistance et des soins médicaux fréquents"). Enfin, les scores AVQ (Activités de la Vie Quotidienne) physique et psychologique ont augmenté de 8% et 6% respectivement. Ce tableau permet de connaître globalement le contexte dans lequel ce travail a été développé : (i) une augmentation importante de la demande, (ii) une population de personnes âgées nécessitant de plus en plus de soins et (iii) une augmentation du nombre d'établissements d'HAD étant une des structures de soins médicaux à domicile la plus étudiée.

Indicateur	2005	2008	2011	Changement (2005 vs 2011)
Nb d'établissements	123	231	303	+146%
Nb de journées	1 505 814	2 77 900	3 901 637	+159%
Age moyen	60.9	63.2	64.1	+5%
Indice de Karnofsky moyen	50	50	50	0%
Score AVQ physique moyen	9.5	9.9	10.3	+8%
Score AVQ psychologique moyen	3.4	3.5	3.6	+6%
Nb séjours	67 430	120 121	159 161	+136%
Nb séjours complets	51 760	90 755	128 404	+148%
Durée moyenne de séjour	14	13.5	15.5	+11%

TABLE 2.1 – Évolution de l'HAD entre 2005 et 2011 [ATIH 2011].

Ainsi, l'HAD devient une partie importante du système de soins. Les départements ayant eu le plus grand nombre de séjours en HAD en 2011 sont les Hauts-de-Seine avec 441.483 journées (dont 97,58% réalisées par l'HAD "Santé-Service"¹), le Nord avec 178.683 journées, et le Rhône avec 150.120 journées. La Figure 2.1 présente la distribution du nombre de journées en HAD par régions. Nous pouvons voir que l'activité des régions au Nord-Est a relativement diminué tandis que les départements des régions Centre-Ouest, Bretagne et Rhône-Alpes concentrent maintenant une partie importante.

2.2.1.4 HAD en Rhône-Alpes.

La région Rhône-Alpes concentre une partie importante de la demande de soins en HAD (voir Figure 2.1). Cette alternative de prise en charge s'est beaucoup développée au cours des dernières années (augmentation du nombre d'établissements et de motifs de prise en charge). Le projet OSAD (voir la partie 2.3) nous a permis d'établir un panorama précis des structures d'HAD dans la région. En 2011, il existait 27 établissements d'HAD en Rhône-Alpes. Parmi ceux-ci, 17 structures ont accepté travailler dans le projet. Une liste de ces structures se trouve dans le

1. Voir la partie 2.2.1.2

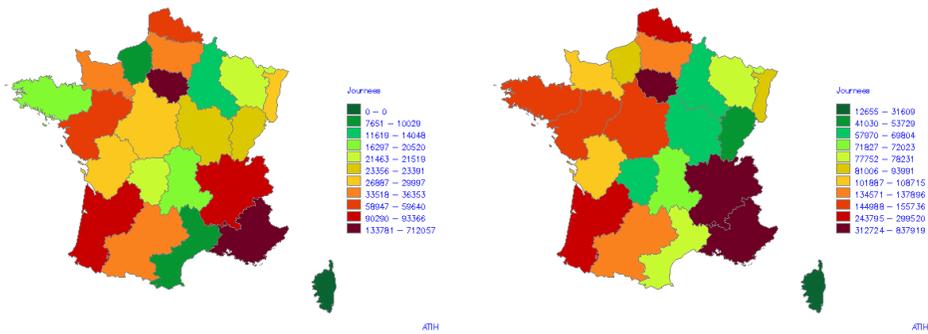


FIGURE 2.1 – Distribution de l'offre de service en HAD en 2005 (à gauche) et 2011 (à droite)

Tableau B.1.

Le Tableau B.2 présente la composition en termes de ressources humaines des HAD ayant participé au projet. Notons plusieurs remarques : la plupart des structures emploient du personnel libéral plutôt que des infirmières salariées. En outre, le faible nombre de médecins s'explique par plusieurs faits : (i) ils constituent une ressource coûteuse, même si les tutelles ont endigué dès le départ ce risque, (ii) les HAD ne sont sensés faire que de la coordination, et (iii) l'HAD est médicalement couverte par le médecin traitant. Aucun médecin de l'HAD ne peut se substituer au médecin traitant dans la prise en charge à domicile. Enfin, le nombre relativement élevé d'infirmières (cadre ou non) indique qu'elles jouent un rôle fondamental dans le processus de soins.

Dans la région Rhône-Alpes, l'HAD est devenue une alternative à l'hospitalisation traditionnelle. En six ans (de 2005 à 2011) le nombre de structures a augmenté de 286 %. Une croissance similaire est remarquée dans le nombre de séjours et de séjours complets (voir Tableau B.4). On remarque en particulier que l'augmentation du nombre de séjours est plus forte que l'augmentation du nombre de séjours complets (Figure 2.2). Cela signifie qu'il existe de plus en plus de changements de motifs de prise en charge. D'autre part, il est intéressant de noter que la durée des séjours a diminué de 30%. Enfin, des taux d'AVQ (Activités de la vie quotidienne) ont diminué peut être dû à la prise en charge des patients de plus en plus malades ou des traitements plus complexes. En comparant le contexte national et régional (Tableaux 2.1 et B.4) on peut voir que : (i) l'augmentation de la demande au niveau régional est presque le double de la moyenne nationale, (ii) il y existe une concentration dans les soins à courte durée avec des patients de faibles capacités fonctionnelles (mesures avec les score AVQ).

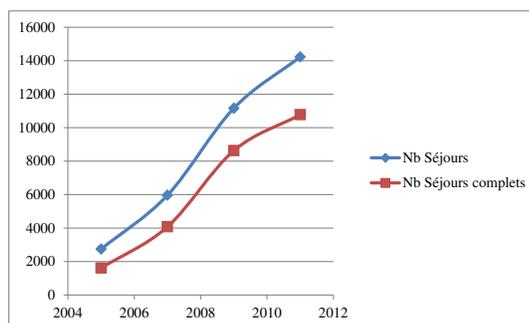


FIGURE 2.2 – Évolution du nombre de séjours et séjours complets en HAD en Rhône-Alpes

Plusieurs remarques peuvent être formulées quant aux raisons pour lesquelles les patients sont hospitalisés en HAD : 71.34 % des journées en HAD sont effectuées dans le cadre de 6 modes de prise en charge parmi 20. Le motif le plus important est le soin palliatif avec près d'un quart (26,22 %) du nombre total de journées. L'indice de Karnofsky moyen, qui mesure l'état de santé global du patient, change entre les modes de prise en charge, mais il est généralement situé entre 40 et 50. Cet index donne aussi une idée de l'état de mobilité et dépendance du patient : 40 indique que le patient est "invalide et requiert des soins et une assistance importants", et un score de 50 indique que le patient "requiert une assistance et des soins médicaux fréquents". Le Tableau 2.2 présente les motifs principaux de modes de prise en charge en terme du nombre de journées.

Position - Mode de prise en charge	Nb Journées	Pourcentage
1. Soins Palliatifs	101 836	26.22%
2. Pansements Complexes et Soins Spécifiques	44 226	11.39%
3. Nutrition Entérale	39 965	10.29%
4. Soins de <i>nursing</i> lourds	34 720	8.94%
5. Traitement par voie intraveineuse	32 849	8.46%
6. Prise en charge de la douleur	23 527	6.06%
Total des 20 modes prise en charge	388 450	100%

TABLE 2.2 – Principaux modes de prise en charge en Rhone Alpes en 2011 en termes du nombre de journées

Le classement des principaux modes de prise en charge change lorsque l'on utilise un autre critère de classification, comme le nombre de séjours. Bien que la raison

principale pour des séjours en HAD est encore les soins palliatifs (23,06 %), il existe de nouveaux modes de prise en charge qui apparaissent, telles que la chimiothérapie (10,84 %), la prise en charge de la douleur (7,23 %) ou encore la surveillance post chimio anticancéreuse (8,37 %). Ces principaux modes de prise en charge peuvent être consultés dans le Tableau 2.3.

Les Tableaux 2.3 et 2.2 présentent un panorama des modes de prise en charge principaux en Rhône-Alpes. Parmi ces modes de prise en charge, deux ont été choisis arbitrairement pour appliquer les modèles développées dans la thèse : (i) Soins palliatifs et (ii) Prise en charge de la douleur. Ce choix ne conditionne pas les résultats ni les conclusions des problématiques abordés. Pourtant, le choix n'étant pas fait parmi la totalité des modes de prise en charge, elle garantit un certain niveau de généralité.

Position - Mode de prise en charge	Nb Séjours	Pourcentage	
1. Soins Palliatifs	3 280	23.06%	72.29%
2. Traitement par voie intraveineuse	2 135	15.01%	
3. Chimiothérapie anticancéreuse	1 542	10.84%	
4. Surveillance post-chimio anticancéreuse	1 191	8.37%	
5. Pansements Complexes et Soins Spécifiques	1 106	7.78%	
6. Prise en Charge de la douleur	1 028	7.23%	
Total des 20 modes de prise en charge	10 771	100%	

TABLE 2.3 – Principaux modes de prise en charge en Rhône-Alpes en 2011 en termes du nombre de séjours.

Finalement, les HAD constituent des acteurs essentiels du système de santé en Rhône-Alpes. Avec une croissance significative du nombre de structures et de modes de prise en charge, l'HAD devient une alternative intéressante à l'hospitalisation traditionnelle. De la même manière on remarque l'importance des soins palliatifs : il s'agit du mode de prise en charge le plus représenté dans la région (tant en nombre de journées que de séjours). La chimiothérapie, les pansements complexes, les soins de *nursing* lourds et le traitement par voie intraveineuse sont des modes de prise en charge qui ont une importance relative dans la région et qui méritent d'être étudiés afin de déterminer quels sont les facteurs qui assurent la pertinence économique de ces structures dans l'avenir.

2.2.1.5 Réseaux de Soins

Les réseaux de soins sont des structures plus légères que les HAD. Elles sont constituées d'une unité de coordination qui est chargé d'entrer en contact avec tous les professionnels dont les patients ont besoin pour assurer la prise en charge. Il est important de noter que les réseaux de soins utilisent toujours des libéraux pour les

activités de soins. Pour cette raison, le financement réalisé par la sécurité sociale ne couvre que les activités de coordination. Les autres activités comme les soins sont remboursées directement aux professionnels.

Les réseaux sont financés avec une enveloppe globale pour les activités de coordination. Les activités de livraisons de médicaments peuvent être réalisées de différentes manières : livraison des médicaments par un logisticien au domicile du patient, ou livraison par un pharmacien de ville. Les activités de soins sont remboursées par la sécurité sociale directement aux professionnels. Les diagnostics et consultations sont réalisés par les médecins de ville ou les hospitaliers selon le cas.

Actuellement il n'existe pas un grand nombre de réseaux de soins qui prennent en charge le traitement d'un patient. Il est important de ne pas confondre ici les réseaux qui ont une file active de patients et ceux qui ont comme objectif de discuter des différentes problématiques du système de santé mais qui ne prennent en charge aucun patient. Dans cette thèse, nous allons nous concentrer sur les réseaux qui coordonnent les traitements (ayant une file active de patients).

2.3 Projet OSAD

Le projet OSAD (Organisation des Soins À Domicile) réunit des hôpitaux, des entreprises et des universités autour de la problématique de l'organisation des soins à domicile. Les résultats de ce projet ont été utilisés dans cette thèse pour comprendre le système de soins médicaux à domicile, ses enjeux et défis scientifiques. L'objectif du projet était "d'apporter des méthodes et outils issus du Génie Industriel en réponse aux problématiques majeures de gestion et de pilotage des structures de prise en charge à domicile pour les soins complexes".



Différentes problématiques ont été étudiées :

1. **Ingénierie du système de production des soins et des services.** Les verrous scientifiques portent principalement sur deux aspects : (i) L'ingénierie de conception des HAD, avec en particulier la mise en place de celles-ci en milieu rural. La complexité de cette problématique s'exprime dans la mise en place d'un réseau de santé dont le centre de gravité serait la structure HAD. (ii) La problématique de la conception de nouveaux services, qui se décline sur le volet de la pertinence médicale et économique et sur celui de l'organisation de la prise en charge.
2. **Planification et ordonnancement de l'activité.** Le verrou scientifique à lever est lié à la complexité de la prise en charge (besoin multi-ressources, contraintes de continuité des soins par une même ressource, de synchronisation de ressources sur une même activité, de fenêtre de temps...), à la variabilité

des trajectoires (gamme de production de soins individuelle), la complexité liée aux moyens de transport (différentes modalités, trafic routier...) et au périmètre d'intervention (territoire urbain, rural, de montagne...).

3. **Gestion des ressources humaines.** Les verrous scientifiques sont liés à une gestion d'un nombre important de professionnels (médicaux, paramédicaux, social, psychologue) et à la complexité de gestion conjointe des personnels d'encadrement salariés de la structure œuvrant de manière transversale et des personnels libéraux intervenant au quotidien au chevet du patient tout au long de sa prise en charge.
4. **Gestion de la logistique.** Le verrou scientifique est principalement lié à la complexité de distribution des différents flux logistiques (matériels, équipements, pharmacie, déchets) provenant de sources différentes (HAD, pharmacies d'officine, prestataires externes...) dans un contexte de réglementation très contraignant (au titre de la sécurité patient, de l'entourage familiale, de l'environnement), et une demande très variable (flux réguliers et urgents en raison de l'évolution des pathologies prises en charge).
5. **Pilotage par la performance.** Le verrou scientifique est double : (i) Mise en place d'une démarche d'évaluation de la performance et de pilotage par la performance (par exemple, *balanced scorecard*). (ii) La définition d'une plateforme de travail collectif entre le siège de la HAD (protocole de soins), les patients (dossier de chevet patient détaillant l'état de santé et des soins), le médecin traitant (ordonnances), les personnels salariés qui interviennent au domicile, les personnels libéraux (i.e., problème d'interopérabilité, de mobilité, ...) qui permettent à la fois une traçabilité des personnels et des activités, un outil de communication entre les professionnels, les patients, les familles et les prestataires externes.

Les réponses apportées à ces problèmes devront satisfaire un triple objectif de qualité de service rendu au patient (à minima celui qu'ils auraient obtenu au cours d'un séjour hospitalier), de qualité de travail pour les personnels (minimisation des temps perdu en déplacements, minimisation du stress au travail, sécurisation des horaires de travail...), d'équilibre financier de la structure (adéquation coût de production des soins et T2A, capacité à ouvrir son portefeuille de prise en charge, capacité d'innovation...).

2.4 Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile

La question de la pertinence des soins médicaux à domicile est intimement liée à la comparaison des structures de SMAD avec les structures hospitalières traditionnelles. Avant d'accepter un traitement à domicile, il est nécessaire de vérifier l'équivalence du point de vue médical avec l'hôpital. Ces études sont, évidemment,

2.4. Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile 17

fonction de la pathologie et ses conclusions ne sont pas exportables à d'autres traitements ou maladies.

Recueillir l'avis des patients au sujet de leur qualité de vie ou de leurs préférences est un exercice difficile, comme cela a été montré par le mouvement de préférences du patient et les modèles de décisions partagées [de Haes 2003, Coulter 1999, Charles 1997, Charles 1999, Moumjid-Ferdjaoui 2000, Moumjid 2009]. Si l'on prolonge la satisfaction à d'autres critères que l'impact bio-médical, il existe un grand champ d'études possibles, comme par exemple les impacts sociaux et psychologiques.

La perspective retenue pour calculer les coûts des structures est cruciale. Les questions clés sont les suivantes : (i) Quels sont les coûts à inclure ? (ii) Quel budget va supporter ces coûts ? et (iii) S'agit-il de coût à long ou à court terme ? Le résultat et les conclusions des études économiques sont très sensibles à ces questions et la même situation pourrait conduire à des conclusions différentes lorsque les coûts sont évalués de manière non uniforme.

La stratégie de recherche est présentée dans la section 2.4.1. La partie 2.4.2 contient une revue de la littérature des études comparant ces deux alternatives du point de vue médical. Dans la partie 2.4.3, les études qui comparent les traitements dans les deux types de structures du point de vue du patient sont présentées. Finalement, la partie 2.4.4 présente les études qui comparent les structures selon des critères économiques. Cette décomposition en trois parties est concordante avec les objectifs de qualité d'un système de soins, présentés par l'IOM (*Institute of Medicine*) [Reid 2005].

2.4.1 Stratégie de recherche bibliographique

Une recherche a été menée dans différentes bases de données. La littérature internationale et francophone ont été examinées. Les bases de données anglophones suivantes ont été consultées : la *National Library of Medicine* (National Institutes of Health, aux États Unis d'Amérique), la base *Cochrane*, la base *PubMed*, le *Centre for Reviews and Dissemination* (*National Institute for Health Research*, Royaume-Uni), le *National Guideline Clearinghouse* aux États Unis d'Amérique, les bases de données de l'Organisation Mondiale de la Santé (Bureau régional pour l'Europe), et l'Institut d'économie de la santé (Canada). Pour la littérature francophone, nous avons passé en revue la "Banque de données de Santé Publique" et le "Portail d'information scientifique des unités CNRS". Les moteurs de recherche tels que ScienceDirect et Google Scholar ont été utilisés pour la littérature espagnole et italienne. La table 2.4 présente les résultats de cette stratégie de recherche bibliographique.

Notons que les articles les plus anciens datent des années 90. Ceci montre non seulement que les organisations de SMAD ont commencé à prendre une place fondamentale dans le système de santé à partir de cette période, mais aussi que la

Stratégie de Recherche Bibliographique			
Étape	Terme	Période du temps	Références trouvées
	Hospitalisation à Domicile	Sans Limite	13
étape 1	" <i>Hospitalization at Home</i> "		3
ou			
étape 2	" <i>Hospital at Home</i> " ou " <i>Hospital-at-Home</i> " ou " <i>Home Healthcare</i> " ou " <i>Home Care</i> "		10
	Essai clinique aléatoire	Sans Limite	11
étape 3	" <i>Randomized Controlled Trial</i> " and " <i>Hospital at Home</i> " ou " <i>Comparison</i> "		7
ou			
étape 4	" <i>Hospital vs Home</i> " ou " <i>Home based vs Hospital based</i> " and " <i>Hospital at Home vs Hospital</i> " and " <i>Home Care vs Hospital</i> "		4
	Inpatient vs Outpatient	Sans Limite	2
étape 5	" <i>Inpatient vs Outpatient</i> "		2
	Autres langues	Sans Limite	4
étape 6	(" <i>Domizziliari</i> " ou " <i>Domicilio</i> " ou " <i>Domicile</i> ") et (" <i>Hospitalisation</i> " ou " <i>hospitalización</i> ")		4
	Total		30

TABLE 2.4 – Présentation des résultats de la stratégie de recherche bibliographique

2.4. Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile

question de leur pertinence est récente.

2.4.2 Comparaisons des résultats de santé

La première étape de la validation de toute alternative à l'hospitalisation classique consiste à prouver son équivalence en résultats de santé. Ces études cherchent à comprendre l'impact du choix du lieu de soins sur le patient. Nous supposons que les autorités ne permettront pas la délivrance de soins à la maison s'il existe un risque médical pour le patient. Une fois ce point vérifié, la question de la motivation pour les soins à domicile sera liée aux ressources allouées (coûts) et à la perspective du patient, y compris la qualité de vie, l'accès aux soins lorsque l'hôpital est loin de leur domicile, et d'autres critères de satisfaction.

La méthode la plus utilisée pour mesurer l'influence des deux structures est l'essai contrôlé aléatoire. Dans cette méthodologie plusieurs groupes de patients sont conçus. Un groupe de contrôle est utilisé pour vérifier si des changements dans les critères sont dus à l'étude elle-même ou à un changement réel. Un grand nombre d'articles utilisent l'essai contrôlé aléatoire afin d'évaluer les deux types de structures [Borras 2001, Chataway 2006, Tibaldi 2004, Taylor 2007b, Anderson 2000, Shepperd 1998a, Shepperd 1998b, Coast 1998, Richards 1998, Hermiz 2002, Goulet 2001].

Différentes études montrent qu'il existe une équivalence des résultats de santé : l'équivalence a été montrée dans les études suivantes portant sur : (i) la toxicité dans la chimiothérapie du cancer colorectal selon [Borras 2001], (ii) l'âge de gestation, le poids de naissance et le stress *ante-partum* dans une étude avec 250 femmes [Goulet 2001] dans la région de Québec en Canada, et (iii) les traitements par stéroïdes pour les patients souffrant de sclérose en plaques [Chataway 2006] dans une étude qui comprenait 138 patients. Dans [Tibaldi 2004], les auteurs ont analysé 109 patients souffrant de (i) démence causée par la malnutrition, (ii) d'infections et (iii) d'accidents vasculaires cérébraux, et ont découvert qu'aucune différence significative en termes de mortalité n'existe dans les deux structures. L'équivalence a été prouvée pour les patients atteints d'embolie pulmonaire non-massive en Espagne [Rodriguez-Cerrillo 2009]. Pour les patients souffrant d'une maladie respiratoire aiguë, il existe une équivalence en termes de mortalité et de nombre de réadmission à l'hôpital. Dans [Shepperd 2009], les auteurs ont constaté qu'il n'existait pas de différence significative en termes de réadmissions à l'hôpital ou les habilités fonctionnels des patients tandis que la satisfaction du patient était plus élevée au domicile pour (i) la broncho-pneumopathie chronique obstructive, (ii) la cellulite, (iii) la pneumonie communautaire, (iv) la démence, (v) la réhabilitation cardiaque et (vi) d'autres maladies nécessitant des soins aigus. Enfin, il n'existe aucune différence en termes de mortalité pour les patients âgés nécessitant des soins aigus et qualifiés pour une sortie prématurée au Royaume-Uni [Richards 1998, Hermiz 2002].

La non viabilité des SMAD a été montrée dans l'étude [Shepperd 1998b] sur

l'arthroplastie du genou dans laquelle 30 % des patients ont été réadmis à l'hôpital. Les auteurs montrent également que l'opinion des patients allait dans le même sens et ils ont préféré l'hospitalisation classique.

Les structures de SMAD semble être privilégiée pour la prise en charge des patients souffrant des pathologies suivantes : exacerbation de l'insuffisance cardiaque chronique, exacerbation de la maladie pulmonaire obstructive chronique ou la cellulite. Dans [Leff 2005], les patients recevant un traitement à la maison ont montré une réduction de l'utilisation de contentions chimiques, une tendance vers une réduction de l'utilisation des contentions physiques, moins de complications critiques et une baisse du taux de mortalité. Ce résultat est confirmé par une autre étude [Tibaldi 2004] portant sur les patients souffrant de démence montrant une réduction de l'utilisation de médicaments anti-psychotiques ainsi que dans les troubles du comportement (agitation, agressivité, troubles du sommeil et l'alimentation). Dans une autre étude [Shepperd 2009] les auteurs ont constaté que la mortalité au bout de six mois est plus faible dans la structure de SMAD pour plusieurs maladies, y compris les maladies chroniques, la pneumonie pulmonaire et la démence. Finalement pour les patients souffrant de maladie pulmonaire obstructive chronique, les patients à la maison ont amélioré les scores de leurs activités AVQ tandis que le groupe à l'hôpital a aggravé les scores de leurs symptômes [Hermiz 2002].

La durée moyenne et la médiane de séjour chez les patients peut être plus courte dans les structures de SMAD qu'à l'hôpital, comme cela est montré dans une étude menée aux États-Unis [Leff 2005] pour le traitement de plusieurs maladies aiguës ou pour les soins aigus pour les patients âgés à la maison [Richards 1998].

Toutes les études trouvées sauf une montrent au moins une équivalence et dans beaucoup de cas un avantage aux SMAD concernant les résultats de santé. Le cas de l'arthroplastie du genou [Shepperd 1998b] montre que les résultats dépendent de la pathologie et du traitement. Chaque nouveau traitement à domicile doit être accompagné d'une étude spécifique.

2.4.3 Comparaisons du point de vue du patient

La qualité de vie est généralement mesurée à l'aide de questionnaires. Citons par exemple le questionnaire EORTC-QLQ-C30 ou QoL-C30 qui a été traduit en plus de 81 langues et utilisé dans plus de 3000 études. Ce questionnaire est composé de 30 questions qui portent dans la plupart des cas sur les activités réalisées par le patient dans la semaine précédente. Un autre exemple est le questionnaire EuroQoL-D5 qui comporte une partie descriptive et une échelle analogique visuelle. Finalement les cartes COOP-WONCA (*Darmouth COOP Functional Health Assessment Charts/WONCA*) mesurent l'état fonctionnel comprenant : (i) capacité physique, (ii) sentiments, (iii) activités quotidiennes, (iv) activités sociales, (v) changements bio-médicales et (vi) l'état global de santé. Une carte optionnelle mesure la douleur.

2.4. Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile

D'autres travaux traitent de la satisfaction des patients, des familles, ou encore des soignants avec une méthodologie de sondage d'opinion.

Le traitement à la maison assure la même qualité de vie pour la chimiothérapie du cancer colorectal en Espagne selon [Borras 2001] où les auteurs ont utilisé un questionnaire QoL-C30 pour mesurer la qualité de vie de 78 patients. Dans le cas de soins de courte durée pour plusieurs pathologies de personnes plus âgées, il n'existe pas de changement dans les activités de la vie quotidienne [Leff 2005]. Ce résultat est confirmé par une autre étude [Taylor 2007a] qui montre que les *QALY* des patients sont équivalents pour la réadaptation cardiaque. D'autre part, le EuroQol EQ-5D et les cartes COOP-WONCA ont été utilisés pour évaluer la qualité de vie des patients âgés ayant des soins de courte durée à l'hôpital et en SMAD (sortie précoce) [Richards 1998]. Il n'existe pas de différence significative après 4 semaines, ni après 3 mois entre les deux structures. Finalement, les résultats dans l'enquête de St George montrent qu'il n'existe pas de différences dans la qualité de vie des patients souffrant de maladie pulmonaire obstructive chronique [Hermiz 2002]. Ce questionnaire a été développé pour les patients atteints d'une maladie respiratoire. Il comporte 50 questions sur : (i) les symptômes, (ii) le retentissement sur l'activité et (iii) l'impact sur la vie quotidienne.

L'habilité fonctionnelle peut être un critère de la qualité de la vie car elle influe sur les activités quotidiennes. Habituellement, ce facteur est évalué avec l'indice de Barthel. En utilisant cet outil, il a été montré qu'il n'existe pas de différence significative après 3 mois et 4 semaines pour les patients âgés recevant des soins aigus à l'hôpital et au domicile [Richards 1998].

De la même façon que les résultats biomédicaux, les structures de SMAD assurent la même qualité de vie que l'hôpital. Ce résultat est important pour les maladies qui affectent les activités quotidiennes ou l'habilité fonctionnelle, et qui peuvent diminuer la qualité de vie. Plusieurs résultats pour d'autres critères comme la satisfaction du patient ou le stress des soignants sont présentés par la suite.

Un autre critère important est la satisfaction du patient. Il peut y avoir une discussion sur la pertinence de l'opinion du patient sur son propre traitement. Toutefois, les patients ont parfois le pouvoir de décider sur la structure de soins. Il est donc important dans cette étude de discuter et d'examiner la littérature pour chercher des comparaisons entre les structures en termes de satisfaction des patients et ces préférences.

Il existe plusieurs études qui favorisent les structures de SMAD concernant la satisfaction des patients. Par exemple, les patients à leur domicile ont déclaré être plus satisfaits par la disponibilité des soins infirmiers, alors que les patients hospitalisés se sont dits insatisfaits du temps d'attente dans les hôpitaux dans le cas de la chimiothérapie [Borras 2001]. De la même façon, les patients à domicile ont apprécié la conti-

nuité de la vie familiale (soutien social et comportement de leur entourage) [Goulet 2001]. Ces résultats ont aussi été reportés dans une autre étude [Shepperd 1998b] pour plusieurs maladies et traitements comme le remplacement de l'hanche, l'hystérectomie et les obstructions respiratoires. Une autre étude [Richards 1998] montre que les patients âgés nécessitant des soins aigus étaient plus satisfaits de la discussion avec le personnel soignant à la maison. Finalement les patients souffrant de broncho-pneumopathie chronique obstructive ont déclaré être plus satisfaits avec le traitement [Hermiz 2002].

Dans [Rischin 2000], les auteurs présentent une étude randomisée croisée de la chimiothérapie à domicile versus l'hôpital en Australie. La taille de la population étudiée est de 20 patients. Chaque patient est affecté au hasard pour recevoir la première chimiothérapie à domicile ou à l'hôpital et il reçoit ensuite une deuxième chimiothérapie dans l'autre alternative. La majorité des patients (70%) ont préféré recevoir les deux chimiothérapies à la maison. Personne n'a pas déclaré préférer l'hôpital.

Un fait intéressant est que la préférence des patients ayant suivi une séance de soins à domicile est favorable pour ce type de traitement. Ce résultat est confirmé dans trois études [Carrère 2008, Gonzalez Barcala 2006, Remonday 2005]. La première concerne 139 patients du Centre de Lutte Contre le Cancer Léon Bérard à Lyon. Parmi eux, 70% ont préféré le domicile et ceux qui avaient l'expérience des transfusions à la maison avaient une haute probabilité de choisir ce type de traitement. La deuxième concerne des patients souffrant la maladie pulmonaire aiguë et 95% étaient satisfaits du SMAD. Finalement la dernière étude concerne les patients atteints de cancer et nécessitant une transfusion sanguine.

L'hôpital est préféré par les patients atteint d'arthroplastie du genou dans [Shepperd 1998b]. Cette préférence est à mettre en parallèle avec le fait que 30% des patients ont été réadmis à l'hôpital. Ce fait montre que le résultat biomédical est une composante importante de la satisfaction des patients, voir la plus importante.

Les structures de SMAD peuvent être un moyen d'éviter les hôpitaux pour certains cas ou certaines périodes de soins palliatifs ou des soins de fin de vie. Le choix de la structure de SMAD dans ce cas est lié à l'acceptation culturelle de la mort, la situation psychologique, à l'entourage familial entre autres. Ces considérations sont hors de notre portée, mais une étude italienne [Conno 1996] montre qu'un pourcentage élevé des patients (86% de 348) choisissent la maison comme lieu du décès. Pour le reste des patients, près de la moitié (47%) sont allés à l'hôpital à cause d'un manque de ressources familiales, tandis que l'autre moitié (49%) en reportant le besoin de recevoir un soin particulier; pour le reste, les conditions du domicile n'étaient pas compatibles. Cette étude montre que les résultats de santé ne sont pas les seuls critères d'éligibilité de patients pour SMAD. Dans le fonctionnement de plusieurs structures de SMAD, les infirmières considèrent nécessaire une visite initiale

2.4. Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile

au domicile du patient avant d'accepter sa prise en charge. Une étude a été réalisée pour déterminer les caractéristiques des patients qui décèdent dans une maison de soins infirmiers [Takezako 2007] et non à l'hôpital. Les trois raisons évoquées dans cette étude étaient : (i) l'âge des patients, (ii) l'influence de l'entourage pour choisir cette maison de soin et (iii) la présence d'un médecin à plein temps à la maison de soins infirmiers. Il est important de montrer que les patients n'ont pas répondu au sujet de leur préférence dans cette étude.

Le stress des professionnels est important car il peut influencer la qualité du service. Une seule étude trouvée aborde ce point [Tibaldi 2009]. Le stress était plus faible pour les soignants qui traitent des patients atteints de démence à la maison. Pourtant, d'autres études sur différentes pathologies et traitements sont nécessaires en vue de conclure quoi que ce soit sur ce point.

Lorsque les résultats de santé sont les mêmes, la littérature montre que les patients sont plus satisfaits à la maison qu'à l'hôpital. Il est important de rappeler que cette satisfaction est influencée par la qualité des soins, la sécurité du traitement et le résultat biomédical.

Enfin, il existe une complication majeure dans ces études : l'opinion des patients pourrait fluctuer. Cela signifie que la même personne a des opinions différentes au sujet des structures aux différentes étapes de la maladie. Cependant il existe un consensus apparent qui indique que la satisfaction des patients est plus élevée à la maison, non seulement parce que l'hôpital peut être effrayant et stressant, mais aussi parce que la maison permet aux patients de se rapprocher de leurs familles et entourage social. Nous pouvons donc conclure que la majorité des patients préfèrent cette structure qui garantit un meilleur résultat de santé. Par contre lorsque les résultats en santé sont équivalents l'opinion des patients est favorable aux structures de SMAD.

2.4.4 Comparaisons du Point de Vue économique

Il est très difficile de faire des comparaisons de coûts entre les structures, non seulement parce que les acteurs ont des stratégies différentes qui influent sur les résultats de l'étude, mais aussi parce que à la difficulté intrinsèque du calcul de coûts dans la réalité s'ajoute le fait que les modèles économiques liés aux acteurs ne sont pas facilement comparables. Une difficulté majeure est de séparer le coût des soins et le prix des soins. Les hôpitaux, qu'ils soient publics ou privés, ont des intérêts dans la génération d'une marge entre le coût et le prix déclaré à l'assurance. Par exemple on ne peut pas comparer le coût de l'acquisition du médicament par l'hôpital et le prix qui est rapporté à l'assurance. Une autre complication est liée avec le pays de l'étude. Il existe des pays, comme la France, où l'assurance maladie est chargée de la quasi-totalité du coût des soins. Dans certains autres pays, plusieurs coûts sont assumés par le patient et le pourcentage de remboursement dépend du régime de

santé ou de revenu économique du patient. C'est pourquoi il est intéressant de regarder quelle structure est la moins chère à partir d'un point de vue global (en termes d'utilisation des ressources par exemple) indépendamment des spécificités locales.

D'autre part les conclusions dépendent de la perspective pour calculer les coûts. Il n'a pas de sens de comparer le coût de l'hospitalisation avec le point de vue de l'hôpital et le coût de la structure de SMAD, à partir du patient. Étant donné que les résultats des études sont très sensibles à la perspective, il est important de clarifier ce point pour chaque étude. Dans la littérature, il existe principalement deux perspectives différentes : (i) l'assurance ou le point de vue global et (ii) l'hôpital. Le Tableau 2.6 résume l'ensemble des articles recensés à ce sujet.

D'un point de vue global, les structures de SMAD sont intéressantes, car elles peuvent être moins chères que l'hôpital pour certaines maladies. Dans les pays où l'assurance doit payer tous les frais de soins, optimiser les ressources est une nécessité. Les structures de SMAD peuvent être également intéressantes pour améliorer l'accès aux soins dans les régions éloignées des agglomérations.

Avant d'examiner les comparaisons des coûts, certaines études sont très intéressantes car elles abordent le problème du point de vue des ressources supplémentaires. La raison principale est qu'il est important que la sortie anticipée du patient ne génère pas une utilisation de ressources plus importantes à cause par exemple du retour fréquent du patient à l'hôpital. Selon [Borras 2001] l'utilisation de ressources non planifiées est équivalente pour les deux structures. Ce résultat est confirmé par [Chataway 2006] qui montre dans son étude qu'il n'existe pas de coûts médicaux directs additionnels. Dans l'étude de [Leff 2005], l'utilisation des processus de soins de support, comme la thérapie d'oxygène, d'antibiotiques ou les broncho-dilatateurs nébulisés est similaire dans les deux structures, mais les patients en SMAD sont moins susceptibles de recevoir des fluides par voie intraveineuse, un cathéter urinaire ou une consultation. Dans [Anderson 2000], les auteurs sont arrivés à la même conclusion pour le traitement des patients victimes d'AVC en Australie. Les résultats sont confirmés par [Oterino-de-la Fuente 1998] en Espagne où l'utilisation de matériaux de soins infirmiers pour plusieurs maladies étaient équivalents.

Dans ce qui suit, les études du point de vue de l'assurance seront commentées, puis de l'hôpital et finalement depuis la perspective des patients et entourage.

Apparemment, les structures de SMAD peuvent produire des économies pour certaines maladies. Dans l'étude de [Leff 2005], les coûts des deux structures observés aux États-Unis sont comparés. Les patients âgés ont besoin de soins aigus pour la pneumonie communautaire, exacerbation de l'insuffisance cardiaque chronique, la BCPO ou la cellulite. Le montant moyen payé par le traitement était plus faible dans les SMAD. Ce résultat est confirmé dans l'étude de [Coast 1998] pour une sortie anticipée des patients âgés stables au Royaume-Uni. Dans cette étude, le prix de

2.4. Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile

la prise en charge communautaire est comparé. Dans l'étude de [Vergnenègre 2006], les auteurs comparent l'hospitalisation traditionnelle avec les SMAD dans le cas de la prise en charge du cancer broncho-pulmonaire. Le prix moyen par cycle de traitement était plus faible dans les SMAD. Le traitement des stéroïdes à la maison était moins cher dans l'étude de [Chataway 2006] pour le cas de sclérose en plaques. D'autre part le coût total, rapporté à l'assurance, pour les soins aigus des personnes âgées qui souffrent d'insuffisance cardiaque congestive ou d'une BCPO étaient plus faibles dans une structure de SMAD qu'à l'hôpital dans l'étude de [Frick 2009]. Dans [Remonnay 2005], les auteurs comparent le coût observé en SMAD avec les coûts théoriques d'une prise en charge équivalente à l'hôpital. Les frais assumés par la famille ne sont pas pris en compte parce que le système français d'assurance paie la totalité du traitement. Les résultats sont favorables aux SMAD dans le cas de la chimiothérapie et des soins de fin de vie. Toutes ces études comparent le prix après que l'hôpital a pris la marge. Dans [Anderson 2000], le coût du traitement pour les patients de réadaptation après un AVC était plus faible en une structure de SMAD.

Dans [Taylor 2007b] il n'y avait pas de différence en termes de coût-efficacité pour les patients en réadaptation cardiaque. Le calcul des coûts a été fait en multipliant le coût théorique par unité de ressource par la quantité utilisée. Le rapport coût-efficacité a été calculé en divisant le coût par le changement de QALY. Ni les coûts globaux de soins, ni le gain en QALY différait entre les deux structures. D'autre part dans le travail de [Armstrong 2008], les auteurs présentent une étude au Canada pour les patients nécessitant des soins aigus. Les coûts directs ont été calculés de façon individuelle et les indirects ont été attribués en fonction de la durée du séjour. Le coût de médicaments n'a pas été inclus dans l'étude parce qu'il ne représentait que moins de 3% du coût total, donc négligeable. Par contre, pour d'autres traitements comme la chimiothérapie le coût du médicament peut être plus élevé. Les auteurs ont constaté que, même si les coûts étaient plus faibles en SMAD, la différence n'était pas significative. Ils ont expliqué cela par les faits (i) qu'un programme de faible volume est incapable de réaliser l'économie d'échelle, (ii) les coûts de *set-up*, (iii) la courbe d'apprentissage abrupte et (iv) le manque de pression pour faire sortir les patient de l'hôpital. Dans l'étude de [Shepperd 1998b] le coût indiqué pour la réhabilitation après une prothèse de genou ou d'anche et soins aux personnes âgées a été équivalente dans les deux structures.

On peut dire aussi que le coût du traitement peut dépendre de la santé du patient. Dans [Anderson 2000], les auteurs ont démontré une relation entre l'indice de Barthel et le coût après ajustements d'âge et de comorbidité. Cela implique que les résultats en santé peuvent déterminer la structure pertinente économiquement. En autres termes, la pertinence économique des structures de SMAD est sensible aux indicateurs biomédicaux de patients. Cela a également été remarqué par [Cartoni 2007] qui a analysé les différences du coût en SMAD dans quatre contextes des soins palliatifs. Il y avait quatre catégories de soins aux patients : (i) les soins en phase terminale, (ii) les soins complexes, (iii) les soins chroniques ou (iv) les soins de

sortie anticipée. Les patients des catégories (i) et (iv) ont eu un nombre en moyenne plus élevé de visites et coûtaient plus cher.

Les soins à l'hôpital peuvent nécessiter une utilisation de tests lors de l'admission d'un patient [Oterino-de-la Fuente 1998]. Cela explique que le coût d'admission est plus faible pour plusieurs maladies en SMAD (en Espagne). Les auteurs ont attribué la plus grande utilisation des examens aux soins plus complexes à l'hôpital.

Il existe des observations contradictoires dans certains cas. Le coût total pour le traitement des personnes atteintes de BCPO est plus faible dans l'étude de [Frick 2009] mais plus élevés en [Shepperd 1998b]. Avec la même perspective, les différences peuvent être attribuées à des causes spécifiques à chaque pays (États-Unis versus Royaume-Uni) ou à des progrès dans les procédures en dix ans. D'autre part, [Shepperd 1998b] ont également observé un coût plus élevé pour le traitement hystérectomie à la maison.

Il n'y a pas de consensus sur la pertinence économique des SMAD. Apparemment, elle peut réaliser des économies pour l'assurance pour certaines maladies, mais ces résultats sont très dépendants de la maladie, le contexte du pays et d'autres caractéristiques qui sont difficiles à identifier comme la connexion entre le domicile et l'hôpital, le taux d'occupation des lits à l'intérieure des hôpitaux ou la disponibilité des infirmières libérales.

Du point de vue hospitalier, les SMAD peuvent être intéressants car ils peuvent être utilisés pour réguler la capacité et le taux d'occupation tout en améliorant la couverture. Dans [Rischin 2000], les auteurs montrent que la chimiothérapie à domicile était plus chère du point de vue l'hôpital en Australie. Seuls les coûts qui pourraient changer entre les structures sont pris en compte. Le coût en relation avec les dossiers des patients, des soins associés, du personnel et de la pharmacie ont été exclus. Cette hypothèse n'est pas tout à fait valable puisque les coûts des médicaments changent même si le processus à la pharmacie est identique. L'hôpital achète des médicaments pour un plus grand nombre de patients et peut réaliser des économies d'échelle. Ceci n'est plus possible pour le SMAD. Un exemple est trouvé dans la littérature pour deux protocoles de chimiothérapie en France : *5FU* et *Irinotecan* [Launois 1996]. Ce même problème se produit avec les frais de personnel. Même si les infirmières à l'hôpital et au domicile ont les mêmes compétences, leur salaire n'est pas équivalent.

Les résultats en termes de la pertinence économique ne sont pas concluants. Du point de vue des assurances, la structure de SMAD peut réaliser des économies pour différentes maladies. Certains résultats montrent que les SMAD peut produire le même résultat en santé avec moins de ressources au niveau global même si cette diminution apparente dans l'utilisation des ressources n'affecte pas clairement le comportement du système à long terme et autres structures d'appui, comme l'ur-

2.4. Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile

gence ou les services communautaires. Quand un hôpital souhaite offrir des services de SMAD, davantage de ressources doivent être déployées, et les SMAD sont donc plus chers (par exemple les charges salariales deviennent plus élevées). L'avantage est qu'ils peuvent avoir une couverture plus élevée et d'utiliser ses lits pour des procédures plus techniques.

Article	Maladie ou Traitement	Nb Patients	Critère	Type d'étude	Avantage
[Goulet 2001]	Obstétrique - prématurité	250	Stress, âge et poids à la naissance	ECA	Pas de différence
[Borras 2001]	Cancer du côlon	78	toxicité et satisfaction	ECA	
[Rodriguez-Cerrillo 2009]	Embolie Pulmonaire non Massive	61	Complications cliniques	Prospective	
[Gonzalez Barcala 2006]	Maladies Respiratoires Aiguës	25	Réadmissions, décès entre autres	ECA	
[Shepperd 1998a]	hystérectomie	238	résultats biomédicaux	ECA et 3 mois de suivi	
	maladie de personnes âgées	96			
	BCPO	32			
[Shepperd 2009]	BCPO, réhabilitation cardiaque, cellulites, pneumonie communautaire...	844	Mortalité, état de santé	méta-analyse	
			Satisfaction de patients	méta-analyse	SAD (Vs Hôpital)
[Jester 2003]	Sortie anticipée pour remplacement d'anche et genou	109	Satisfaction	Rétrospective	
[Takezako 2007]	Soins de fin de vie	86	Satisfaction	Rétrospective	
[Conno 1996]		348	Impact de la thérapie	Prospective	
[Tibaldi 2004]	Démence	109	Critères relatives à la maladie	ECA	
[Shepperd 1998a]	Remplacement d'anche	86	Résultats biomédicaux, satisfaction	ECA et 3 mois de suivi	
[Richards 1998]	Soins aigus pour personnes âgées	241	Mortalité, Satisfaction	ECA	
[Hermiz 2002]	BCPO	177	Qualité de vie, satisfaction.	ECA	
[Carrère 2008]	Cancer - Transfusion sanguine	139	Satisfaction	Prospective	SAD (Vs H. de Jour)
[Shepperd 1998a]	Réplacement de genou	86	Résultats biomédicaux	ECA et 3 mois de suivi	Hôpital (Vs SAD)

TABLE 2.5 – Résumé des études comparant les structures avec des critères non économiques

Article	Maladie ou Traitement	Nb Patients	Coûts					Perspective
			1	2	3	4	5	
[Launois 1996]	Cancer du côlon	ND	Non	Non	Non	Oui	Non	Hôpital
[Rischin 2000]	Cancer-chimiothérapie	20	Oui	Oui	Non	Oui	Non	
[Oterimo-de-la Fuente 1998]	Plusieurs	148	Non	Non	Non	Oui	Non	Assurance
[Shepperd 1998b]	Plusieurs	538	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	
[Remonay 2005]	Cancer Chimiothérapie	82	Oui	Oui	Non	Oui	Non	
[Vergnenègre 2006]	Cancer du poumon	10	Non	Oui	Non	Oui	Non	
[Leff 2005]	Soins aigus pour patient âgés	455	Oui	Oui	Non	Oui	Non	
[Frick 2009]	Soins aigus pour patients âgés	455	Non	Oui	Oui	Oui	Non	
[Armstrong 2008]	BCPO parmi d'autres	43	Non	Oui	Oui	Oui	Non	
[Taylor 2007a]	Infarctus du myocarde - réhabilitation cardiaque	104	Non	Oui	Oui	Oui	Non	
[Anderson 2000]	accident cérébro-vasculaire - sortie anticipée	86	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	
[Chataway 2006]	Sclérose en plaques - Stéroïdes	138	NA					
[Coast 1998]	Sortie anticipée pour patients âgés après chirurgie	241	Non	Oui	Non	Non	Oui	

Coûts : 1. Logistique, 2. Personnel, 3. Infrastructure, 4. Médicaments et 5. Patient.

TABLE 2.6 – Résumé des différents coûts dans la littérature

Maladie	Traitement	Impact biomédical	Qualité de vie	Préférences patient et famille	Stress sociaux	Coûts
Cancer	Chimiothérapie	[Borras 2001, Vergne-nègre 2006]	[Borras 2001]			[Borras 2001, Vergne-nègre 2006, Reynon 2005, Lanois 1996]
	Soins de fin de vie			[Conno 1996]		
	Transfusion sanguine			[Carrère 2008]		
Obstétrique	Prématurité	[Goulet 2001]		[Goulet 2001]		
Sclérose en plaques	Stéroïdes intraveineuse	[Chataway 2006]				[Chataway 2006]
Pneumonie communautaire, exacerbation de l'insuffisance cardiaque, exacerbation du BCPO et cellulite	Soins aigus pour de patients âgés	[Leff 2005, Shepperd 2009]	[Shepperd 2009]	[Leff 2005, Shepperd 2009]		[Leff 2005, Frick 2009, Armstrong 2008]
Démence d'origine infectieuse, accidents cérébro-vasculaire et malnutrition	ND	[Tibaldi 2004]	[Tibaldi 2004]		[Tibaldi 2004]	
Embolie Pulmonaire non Massive	ND	[Rodriguez-Cerrillo 2009]				

TABLE 2.7 – Résumé de différent travaux classés par maladie et critère, partie I

2.4. Revue de littérature sur l'impact économique des soins à domicile

Maladie	Traitement	Impact biomédical	Qualité de vie	Préférences patient et famille	Stress soignants	Coûts
ND	Soins fin de vie			[Takezako 2007]		
Remplacement de genou et d'anche	réhabilitation	[Jester 2003, Shepperd 1998a]		[Jester 2003, Shepperd 1998a]		
Hystérectomie, BCPO et maladies liés à l'âge	Soins aigus	[Shepperd 1998a]		[Shepperd 1998a]		
Maladies liés à l'âge	Soins aigus et sortie anticipée		[Richards 1998]			
	sortie anticipée et orthopédie					[Coast 1998]
Infarctus du myocarde	Réhabilitation		[Taylor 2007b]			[Taylor 2007b, Anderson 2000]

TABLE 2.8 – Résumé de différent travaux classés par maladie et critère, partie II

2.5 Positionnement générale de la thèse et stratégie adoptée

Comme cela a été vu dans la revue de littérature présentée dans la section précédente, la comparaison de plusieurs modes de prise en charge est difficile, car elle peut être abordée de plusieurs manières : point de vue économique, biomédical, satisfaction du patient, etc. De plus, l'organisation des soins à domicile dépend fortement du pays dans lequel l'étude est réalisée. Ainsi, la question de la pertinence économique des SMAD est difficile à aborder, car elle dépend du mode de remboursement et de la nature des soins dispensés. Afin de traiter ce problème sans biais, nous proposons une méthodologie basée sur un système de coûts commun qui pourra être appliqué à toute structure, quelle que soit sa nature (HAD, Réseau, SSIAD) ou son pays d'implantation. Pour cela, nous établissons un système basé sur les coûts opérationnels effectivement payés par les établissements de SMAD (coûts d'implantation, salaires des ressources humaines, coût d'achat du matériel, coût lié aux déplacements, etc.) sans nous préoccuper du système de remboursement ou de la part payée par chacun des acteurs du système (patients, assurance maladie, mutuelles, etc.). Afin d'adapter nos modèles à une autre structure ou un autre pays que la France, il sera donc nécessaire de modifier le système de coûts utilisé dans les paramètres de chacun d'entre eux, afin de prendre en compte des différentes subtilités du système de coûts en vigueur.

Afin de traiter de la pertinence économique des établissements de SMAD, nous avons choisi de traiter trois problèmes distincts. Le premier consiste à définir la stratégie d'implantation des structures de SMAD sur un territoire de manière à maximiser la satisfaction de la demande tout en minimisant les distances parcourues par les différents professionnels de santé. Ce problème d'aide à la décision s'adresse tout particulièrement aux autorités de santé, qui seront ainsi en mesure de décider sur le plan stratégique de la quantité de structures de SMAD à ouvrir sur les prochaines années. Le problème permettra également de décider du type de soins à prodiguer et des ressources nécessaires au bon fonctionnement de ces structures. L'objectif consiste à assurer la viabilité de ces structures tout en prenant garde à ne pas défavoriser les établissements d'hospitalisation classiques.

Le deuxième problème consiste à définir les processus de soins qui seront assurés par les structures de SMAD ainsi que la stratégie à adopter afin de garantir une viabilité économique sur le long terme. Nous nous intéresserons en particulier à la couverture épidémiologique et spatiale de l'établissement. Les modèles permettront en outre de mesurer l'impact induit par une variation sur le coût des activités réalisées en interne ou en externe, par une variation sur le montant du financement, etc.

Enfin, le troisième problème considéré dans cette thèse permettra d'aborder en détail le problème du dimensionnement en ressources des structures de SMAD en

tenant compte de plusieurs types d'incertitudes. Cette approche est innovante, car elle permet de tenir compte d'une demande qui varie avec le temps de plusieurs manières : volume, localisation, nature. Nous sommes ainsi en mesure de proposer une méthode d'optimisation robuste à destination des dirigeants de structures de SMAD, qui permettront de minimiser les risques liés aux décisions d'embaucher du personnel soignant ou de s'engager sur de nouvelles prises en charge.

Grâce à cette approche en trois volets, nous sommes ainsi en mesure de proposer une étude complète de la pertinence économique des soins à domicile en nous affranchissant des subtilités liées au système de remboursement, spécifique pour chaque pays. La méthodologie proposée est ainsi reproductible quel que soit le territoire mis en jeu ou la structure considérée.

2.6 Mise en Œuvre

La première partie de ce travail a été consacrée à l'étude des acteurs, des structures et des activités du système de santé à domicile. Cette étude a été menée à la recherche pour la modélisation des différents traitements et des structures afin de comprendre les différents enjeux à la fois économiques et sociaux. Une fois, ces enjeux sont devenus claires, on a procédé à énoncer les différents problèmes à étudier.

Au départ, on a étudié le problème au niveau stratégique de la localisation des structures de soins à domicile. Ici, il a été constaté que l'emplacement détermine le coût du déplacement de ressources mobiles, le transport de médicaments et de matériel ainsi que le type de pathologie à traiter.

Ensuite on a traité le problème de la stratégie organisationnelle, qui consiste à définir ce quels sont et comment exécuter les processus de soins, afin d'assurer la viabilité économique de la structure à l'avenir.

Enfin, le problème de la planification de la capacité a été étudié. Dans cette partie du travail on propose un modèle de planification de la capacité qui prend en compte trois types d'incertitude : (i) l'incertitude dans le volume de la demande, (ii) la répartition géographique de cette demande et (iii) le type la demande, soit la pathologie.

Ainsi, trois problèmes majeurs ont été abordés dans le plan stratégique et organisationnel, relatifs à la pertinence économique des soins à domicile.

Localisation des structures de soins médicaux à domicile

3.1 Introduction sur la localisation des Structures de SMAD

L'un des principaux obstacles dans le développement et la viabilité économique des structures de soins à domicile se trouve dans la minimisation des coûts de déplacements du personnel, de transport de médicaments et de matériel médical. Ce coût est lié à la localisation géographique de la structure. Il est donc important de développer des modèles pour optimiser cette localisation afin de réduire les coûts logistiques de la structure. De plus, il existe une relation entre la localisation, les pathologies à prendre en charge, les territoires à desservir et les ressources à allouer. Pour cette raison, le modèle d'optimisation de la localisation des structures doit prendre en compte certains aspects comme les pathologies des patients traités et la disponibilité de ressources.

Dans ce chapitre trois modèles de la localisation de structures des soins médicaux à domicile sont présentés. Ces modèles sont des extensions du problème de la localisation d'installations à capacité illimitée, pour lequel une revue de la littérature est présenté dans la section 3.2. Le premier modèle, présenté dans la section 3.3, sert de base pour les deux autres et permet d'explorer la complexité de la mise en œuvre logistique des soins à domicile. Plusieurs éléments caractéristiques sont introduits pour la première fois, tels que (i) l'autorisation de prise en charge de certaines pathologies, (ii) le coût des ressources en tenant compte de la répartition géographique des patients qui représente une augmentation des charges et (iii) les coûts de pénalité pour toute demande non desservie par les structures. Le second modèle, présenté dans la section 3.4, intègre la dimension temporelle des décisions liées à la quantité de ressources mobilisées, à fin de faire face aux variations dans la demande. Enfin, le troisième modèle présenté dans la section 3.5 prend en compte les ressources libérales.

3.2 État de l’art sur la localisation d’installations

3.2.1 Introduction

Il existe une littérature abondante dans le domaine de la localisation de structures. Un état de l’art proposé par [Current 2002] propose une classification des problèmes de localisation en six groupes : (i) modèles basiques (purement localisation), (ii) localisation-routage, (iii) localisation dans les réseaux, (iv) modèles multi-objectifs, (v) modèles dynamiques et (vi) modèles stochastiques. Une autre classification est proposée dans [Hamacher 1998]. Cette classification comprend cinq positions (Pos1/Pos2/Pos3/Pos4/Pos5) dans lesquelles les caractéristiques suivantes sont exprimés : (i) nombre et type d’installations à localiser, (ii) type de espace (continu, discret, euclidien...), (iii) information spécifique au modèle comme le type de restrictions ou l’existence de solutions faisables, (iv) la relation entre les installations existantes et les nouvelles et (v) une description de la fonction objective. En [Brandeau 1989] les auteurs réalisent une taxonomie en tenant compte trois critères : (i) fonction objective, (ii) variables de décision et (iii) paramètres du modèle. De nombreux états des l’arts existent par ailleurs [ReVelle 2008b, Labbé 1995, Mirchandani 1990, Daskin 2005] ont réalisé des état de l’art en problèmes de localisation.

Le problème de localisation de structures de SMAD peut être modélisé comme un problème de localisation discrète (le territoire est divisé en zones et une liste de localisations possibles est fournie au début). Ce choix est justifié par le fait que la division du territoire en zones est une pratique traditionnellement utilisée dans le système de santé (division géographique en bassins de santé dans les études démographiques et épidémiologiques, ou dans les autorisations de fonctionnement que les autorités donnent aux structures).

Plusieurs problèmes classiques de localisation de structures sont introduits dans la suite de cette section, notamment les problèmes de localisation traditionnels, les problèmes de couverture, et enfin les problèmes de localisation de structures à capacité limitée.

3.2.2 Modèles de base de Localisation

Nous nous intéresserons en particulier aux problèmes de p-centres et aux problèmes de p-median dans cette section.

3.2.2.1 Problèmes de p-centres

Les problèmes de centre consistent à trouver la localisation de structures afin de minimiser la distance maximale entre les points de demande et l’installation la plus proche ([Hakimi 1964, Hakimi 1965]). Il existe deux principaux types de problèmes de centres. Si l’on peut localiser la ou les installation(s) n’importe où dans le réseau

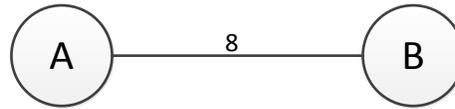


FIGURE 3.1 – Exemple qui montre la sous optimalité de la localisation dans les nœuds

on parle de problèmes de *centrage absolu*. En revanche, si on peut les localiser seulement dans les nœuds on parle de *centrage dans les nœuds*. Pour un même réseau, le problème absolu produit toujours des solutions au moins aussi bonnes que celles du problème des nœuds.

Considérons l'exemple proposé par [Daskin 1995] présenté dans la figure 3.1. La solution du problème dans les nœuds est soit en A , soit en B et la distance maximale est 8. De la même façon, dans le problème absolu, la meilleure solution consiste à choisir le point équidistant pour une valeur de 4.

Dans la majorité des problèmes de centrage, le nombre d'installations à localiser est un paramètre. Ce paramètre est traditionnellement noté p . La formulation du problème de *p-center* (nodal) est la suivante :

Paramètres

d_{ij} = distance entre le point de demande i et la localisation possible j ,

P = Nombre d'installations à localiser.

Variables de décision

X_j = 1 si la localisation j est choisie, 0 sinon ;

Y_{ij} = fraction de demande du point i servie par l'installation j ,

W = Distance maximale entre un point de demande et l'installation la plus proche.

Le problème consiste donc à :

$$\min W \tag{3.1}$$

sous contraintes :

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.2)$$

$$\sum_j X_j = P \quad (3.3)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (3.4)$$

$$W \geq \sum_j d_{ij} Y_{ij} \quad \forall i \quad (3.5)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (3.6)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3.7)$$

La fonction objectif 3.1 minimise la distance maximale entre un point de demande et l'installation la plus proche. La contrainte 3.2 assure que la totalité de la demande de chaque point i est couverte par la somme des localisations. La contrainte 3.3 impose qu'un total de P installations doit être localisées. La contrainte 3.4 stipule que les demandes peuvent être affectées seulement à des installations ouvertes. La contrainte 3.5 est la définition de W et assure que la distance maximale entre un point de demande et l'installation la plus proche est supérieure ou égale à la distance entre chaque point de demande i et l'installation à laquelle elle est affectée. Notons qu'en absence de contraintes de capacité des installations, les variables Y_{ij} sont binaires dans la solution optimale et chaque point de demande est automatiquement affecté à l'installation ouverte la plus proche.

Quand P est fixé, on peut trouver une solution en temps polynomial. Par contre, quand P varie, le problème de P-centre est NP-complet [Garey 1979, Kariv 1979]. Il faut aussi noter que lorsque le réseau est un arbre, on peut facilement trouver des solutions polynomiales [Daskin 1995]. Une revue de littérature est proposée dans [Tansel 1983] et [Mirchandani 1990].

Plusieurs extensions du problème incluent l'introduction de la capacité des installations ou la localisation sur un espace continu, un graphe ou un réseau.

Dans [Averbakh 1998] est présenté un problème p-centre afin de minimiser le regret maximal de la localisation dû à l'incertitude de la demande dans les nœuds d'un réseau. Les installations peuvent être aussi localisées sur un espace continu : ce problème a été étudié par [Suzuki 1996]. Le problème est équivalent à couvrir une région continue avec p cercles ayant un rayon minimal. Les auteurs étudient la version non pondérée du problème (les demandes sont unitaires), présentent une solution heuristique et des bornes supérieures et inférieures pour le problème sur un carré.

Quand la capacité d'une installation limitée, l'affectation de patients doit respecter cette contrainte. [Aykut Özsoy 2006] présente un algorithme exact pour le

problème de p -centre avec capacité limitée. L'algorithme fixe d'abord la distance maximale, et ayant localisé les installations, traitent le problème d'affectation.

Plusieurs travaux explorent de nouvelles méthodes de résolution. Dans [Davidović 2011], les auteurs utilisent une meta-heuristique améliorée, basée sur les colonies d'abeilles. Ils appliquent la technique pour résoudre le problème de p -center ayant une matrice de distances symétrique. Leurs résultats sont comparés à la littérature et montrent que l'algorithme produit les meilleurs résultats connus pour les toutes les instances avec un temps de résolution inférieur.

Problèmes de median

Les problèmes de median sont utiles pour les situations dans lesquelles le coût ou le bénéfice de servir une demande dépend de la distance entre l'installation et le client. Considérons par exemple un système d'urgence dans lesquels on essaie de minimiser le temps de réponse. Ici, le bénéfice de servir un patient dépend de la distance (temps) entre l'installation et le point de demande. Comme on le verra dans la partie suivante concernant les problèmes de couverture, le bénéfice ou le coût ne dépendra pas de la distance.

Le problème de p -median peut être formulé comme suit :

Paramètres

h_i = demande au point i ,

d_{ij} = distance entre le point de demande i et la localisation j ,

P = Nombre d'installations à localiser.

Variables de Décision

$X_j = 1$ si la localisation j est ouverte, 0 sinon,

$Y_{ij} = 1$ se la demande du nœud i est servie par l'installation j .

Les problème consiste donc à :

$$\min \sum_{ij} h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (3.8)$$

sous contraintes :

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.9)$$

$$\sum_j X_j = P \quad (3.10)$$

$$Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j \quad (3.11)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (3.12)$$

$$Y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (3.13)$$

40 Chapitre 3. Localisation des structures de soins médicaux à domicile

La fonction objectif 3.8 minimise la somme des distances les points de demande à l'installation ouverte la plus proche pondérées par la demande. La contrainte 3.9 assure que la totalité de la demande est couverte, 3.10 stipule qu'on localise P installations et 3.11 qu'on ne peut pas affecter une demande à une installation qui n'est pas ouverte. Les contraintes 3.12 et 3.13 sont les contraintes d'intégralité.

Les problèmes de median possèdent la propriété proposée par [Hakimi 1965] qu'il existe au moins une solution optimale au problème telle que les localisations se trouvent dans les nœuds. Par conséquent, le problème de p -median absolu n'a plus de sens (paragraphe précédent). Dans la suite, on ne considèrera que le problème de localisation dans les nœuds. Le problème est NP-difficile par [Kariv 1979].

La littérature présente différentes méthodes et approches de résolution à ce problème. Plusieurs heuristiques de référence ont été développées dans les années 60. Une approche gloutonne appelée "ADD" est proposée dans [Kuehn 1963], où les auteurs localisent d'abord l'installation qui minimise le coût total des clients ; ensuite, les installations sont ajoutées une par une, en choisissant celle qui minimise le coût total. Quelques méthodes d'amélioration ont été développées par la suite comme par exemple la méthode *alterner* [Maranzana 1964] où p installations parmi les candidates sont choisies. Les clients sont affectés à l'installation la plus proche. Ensuite, pour chaque ensemble de clients de chaque installation, le problème 1-median est résolu. L'algorithme est itératif jusqu'à ce qu'il n'y a plus de changements. Finalement, la méthode d'amélioration *interchange* [Teitz 1968] permet de choisir un ensemble de p installations et de les interchanger une à une quand le mouvement réduit le coût total, jusqu'à ce que la solution ne puisse plus être améliorée.

Un algorithme basé sur la recherche tabou est proposé dans [Rolland 1997]. Les auteurs développent une méthode qui est comparée avec les heuristiques de [Goodchild 1983, Densham 1992]. L'heuristique basée sur la recherche tabou s'avère plus performante en termes de qualité de solution et temps de calcul. Une recherche locale a été utilisée pour résoudre ce problème dans le travail de [Hansen 1997]. La recherche locale avec un voisinage variable est comparée avec l'heuristique glouton de [Kuehn 1963], *interchange* de [Teitz 1968], et deux heuristiques basées sur la recherche tabou. L'approche de voisinage présentée est meilleure.

De nouvelles approches pour la résolution de ce problème sont proposées dans [Senne 2005] où les auteurs présentent une approche de *Branch & Price* basée sur la génération de colonnes. Pour pallier au problème de la convergence, les auteurs utilisent la méthode *surrogate*/Lagrangien pour la génération des colonnes. Cette méthode est plus productive que l'approche de génération de colonnes traditionnelle. Enfin, les algorithmes génétiques [Alp 2003] ont également été utilisés pour résoudre ce problème, où la population initiale contient des solutions de telle manière que chaque nœud est ouvert dans au moins une solution. Ensuite deux solutions sont choisies aléatoirement (parents) et en utilisant un algorithme glouton *drop* pour éliminer les

nœuds qui ne se trouvent pas dans les deux parents jusqu'à ce qu'on a une solution avec p installations. Si la nouvelle solution est meilleure que la pire des deux parents, elle la remplace.

3.2.3 Problèmes de couverture

Il existe des situations dans lesquelles la notion de service est associée à une distance maximale entre le client et l'installation. Cette notion est étroitement liée à la localisation des structures dans le secteur public. Un exemple est la localisation des écoles, où un étudiant ne peut pas être à une distance supérieure à un certain paramètre, ou encore la localisation des casernes de pompiers, où ceux-ci doivent être au sein d'un rayon d'action maximal. Ces situations donnent lieu à la notion de couverture. On dit qu'un client est couvert par une installation si elle est à une distance inférieure à une distance maximale. La notion de couverture est intuitive lorsqu'il s'agit de structures de soins de santé. Une revue de la littérature sur les nombreuses études de ce type de problèmes après 1991 est proposée dans [Farahani 2012]. Pour les travaux antérieurs, le lecteur peut consulter [Schilling 1993]. Dans ce qui suit, nous présenterons d'abord le problème de *set covering* où l'objectif est que tous les clients soient couverts pour au moins une installation, puis celui de la couverture maximale où l'on essaie de couvrir le maximum de patients avec un nombre limité de structures.

Set Covering problem

Le problème de *set covering* consiste à déterminer un ensemble d'installations parmi une liste de candidats afin de couvrir tous les clients tout en minimisant la somme des coûts fixes de localisation. Le problème peut être formulé comme suit :

Paramètres

$a_{ij} = 1$ si le site j peut couvrir le point de demande i , 0 sinon,

f_j coût de localiser une installation dans le site j ,

Variables de Décision

$X_j = 1$ si la localisation j est ouverte, 0 sinon.

Le problème de *set covering* consiste à :

$$\min \sum_j f_j X_j \quad (3.14)$$

sous contraintes :

$$\sum_j a_{ij} X_j \geq 1 \quad \forall i \quad (3.15)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (3.16)$$

42 Chapitre 3. Localisation des structures de soins médicaux à domicile

La fonction objectif 3.14 minimise le coût total d'ouverture des installations. La contrainte 3.15 assure que chaque point de demande i soit couvert par au moins une installation ouverte, et la contrainte 3.16 définit la nature de la variable X .

Ce problème a été introduit par [Toregas 1971] pour étudier la localisation de services d'urgence, et a par la suite été enrichi de nombreuses extensions. Le problème est NP-difficile [Garey 1979]. Une revue de la littérature sur les algorithmes utilisés pour la résolution de ce problème est proposée dans [Caprara 2000], où les auteurs se concentrent sur les algorithmes capables de résoudre à l'optimalité des problèmes avec des centaines de lignes et des milliers de colonnes, ou ceux capables de trouver des solutions avec un gap inférieur à 1% pour des problèmes ayant de milliers de lignes et des millions de colonnes.

Dans [Beasley 1987], les auteurs présentent un algorithme qui résout à l'optimalité le problème de la relaxation linéaire du problème pour la racine. Pour chaque branche de la méthode *Branch & Bound*, une borne inférieure est calculée à l'aide de la relaxation lagrangienne. Le problème est ensuite réduit en taille en appliquant la méthodologie de *Lagrangian cost fixing* et le problème relaxé est résolu à l'optimalité grâce au simplexe. Cette méthode a été améliorée par la suite dans [Beasley 1992] en utilisant les développements réalisés dans [Beasley 1990]. Dans [Beasley 1990], les auteurs développent un algorithme basé sur la relaxation Lagrangienne, en trouvant une solution faisable à chaque optimisation du sous gradient. La procédure pour la trouver consiste à choisir les mêmes colonnes (installations) que dans la solution de Lagrange. Ensuite, pour chaque ligne non couverte, on choisit la colonne avec le moindre coût f_j . Ensuite les colonnes sont énumérées par coût en ordre décroissant et chaque installation, commençant par la plus chère, est enlevée si la solution est toujours réalisable. Cette procédure a été utilisée dans [Beasley 1992] pour améliorer l'algorithme proposé dans [Beasley 1987]. Cette amélioration consiste simplement à intégrer la procédure de Lagrange, ajouter des contraintes d'exclusion pour les solutions faisables, utiliser les *f-coups* de Gomory et des procédures pour brancher.

Dans [Ceria 1998], les auteurs présentent un algorithme de relaxation Lagrangienne pour résoudre le problème. Les auteurs utilisent l'information obtenue pendant la relaxation lagrangienne pour construire une fonction qui permettra de choisir les variables dans une heuristique. L'algorithme permet de résoudre en temps raisonnable des instances avec un million de lignes et cinq mille colonnes. Dans [Caprara 1999], les auteurs définissent un problème principal en choisissant des colonnes qui ont un coût de Lagrange bas. Ensuite ils utilisent une procédure de *pricing* sur les variables (*pricing variables*) pour mettre à jour le problème principal.

Maximal Covering location problem

Le problème de *set covering* a une hypothèse fondamentale : on peut ouvrir toutes les installations nécessaires pour couvrir la demande. Ceci veut dire que dans

le cas où il existe de clients éloignés des installations, on se permettra d'ouvrir une installation pour peu de clients. Quand il n'est plus possible d'ouvrir la totalité d'installations nécessaires, le problème devient la maximisation de la couverture avec un nombre limité d'installations, qui est la définition du problème de la couverture maximale (*maximal covering problem*). Plusieurs applications dans les domaines les plus variés on utilisé ce problème-ci pour modéliser et optimiser la couverture. Un exemple est la conservation naturelle [Church 1996], ou le déploiement d'ambulances comme en [Eaton 1985] et [Eaton 1986]. Une revue de la littérature peut être trouvé en [Chung 1986].

Ce problème introduit par [Church 1974] peut être défini comme suit :

Paramètres

h_i demande dans le point i ,

P nombre d'installations à ouvrir.

Variables de Décision

$Z_i = 1$ si le nœud i est couvert, 0 sinon,

Le problème de couverture maximale consiste à :

$$\max \sum_i h_i Z_i \quad (3.17)$$

sous contraintes :

$$Z_i \leq \sum_j a_{ij} X_j \quad \forall i \quad (3.18)$$

$$\sum_j X_j \leq P \quad (3.19)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (3.20)$$

$$Z_i = 0, 1 \quad \forall i \quad (3.21)$$

La fonction objectif 3.17 maximise la quantité de demandes couvertes. La contrainte 3.18 assure que la demande du point i ne peut pas être couverte à moins qu'il existe une installation ouverte qui la couvre. La contrainte 3.19 stipule qu'il existe un nombre maximal d'installations à localiser et les contraintes 3.20 et 3.21 sont les contraintes d'intégralité classiques.

Comme nous l'avons déjà dit, le problème a été introduit dans [Church 1974]. Dans ce travail, les auteurs proposent aussi une heuristique gloutonne qui consiste à trouver d'abord la localisation qui couvre la plus grand quantité de clients, ensuite la deuxième qui couvre le plus de clients qui ne sont pas couverts par la première, jusqu'à p installations. Les auteurs proposent aussi une deuxième heuristique gloutonne, celle-ci en remplaçant les installations entre elles chaque fois qu'il existe une

possible amélioration de la solution.

Un algorithme basé sur la relaxation lagrangienne a été présenté dans [Galvão 1996], où les auteurs, calculent une borne supérieure avec l’heuristique glouton avec remplacement de [Church 1974] et la borne inférieure avec l’optimisation du sous-gradient. Une comparaison entre la relaxation lagrangienne et la relaxation du *surrogate* est présentée dans [Galvão 2000]. Les auteurs comparent les deux approches en fusionnant les contraintes de couverture en une seule contrainte de *knapsack*. Les deux approches sont testées pour une grande nombre d’instances de la littérature. Au final, les différences ne sont pas significatives.

Dans [Berman 2002], l’auteur propose une généralisation du problème basée sur le fait que l’une des hypothèses fondamentales dans le MCLP est la couverture binaire. Les auteurs proposent une fonction de couverture qui dépend de la distance entre les clients et l’installation, i.e. si le client se trouve à l’intérieur du rayon r_i de l’installation i , le niveau de couverture est $a_i(r_i)$. Ils supposent que le niveau de couverture est une fonction décroissante échelonnée, donc chaque client a k niveaux de couverture et un rayon de couverture. Les auteurs montrent aussi l’équivalence entre cette généralisation et le problème de localisation d’installation à capacité illimitée (voir partie 3.2.4).

Dans [Fazel Zarandi 2011], les auteurs proposent un approche basée sur les algorithmes génétiques pour la solution de problèmes à grande échelle. Le codage de la solution est faite via un vecteur de variables binaires qui représentent l’état d’ouverture de chaque installation. Les auteurs utilisent la méthode de roulette pour sélectionner les spécimens (chaque solution est sélectionnée avec une probabilité proportionnelle au *fitness*). La reproduction est réalisée en utilisant les opérateurs classiques de la littérature (*crossover*, *mutation*, *migration*).

Dans [Corrêa 2009], l’auteur utilise une méthode de décomposition pour résoudre le problème en prenant en compte la probabilité qu’une installation ne soit pas disponible. Les résultats de leur approche sont comparés avec les résultats obtenus avec CPLEX. L’approche proposée est la plus performante, et l’algorithme peut trouver l’optimum en quelques instances où CPLEX n’arrive pas.

Pour les grandes instances du problème, une heuristique de concentration peut être utilisée [ReVelle 2008a]. Ici les auteurs utilisent la version *heuristique-gamma* de la méta-heuristique appelée heuristique de concentration. L’algorithme est divisé en deux étapes. La première partie consiste à utiliser un départ multiple et l’échange de vertex comme [Teitz 1968] pour le problème de *p-median*. Après plusieurs itérations les installations qui sont toujours ouvertes constituent un ensemble, appelé “ensemble de concentration”. On suppose que ces installations qui sont toujours ouvertes, le seront aussi dans la solution optimale. La deuxième partie consiste à utiliser une méthode exacte pour trouver cette solution.

Finalement plusieurs applications dans les domaines le plus variés on utilisé ce problème-ci pour modéliser et optimiser la couverture. Un exemple est la conservation naturelle [Church 1996], ou le déploiement d'ambulances comme en [Eaton 1985] et [Eaton 1986]. Une revue de la littérature peut être trouvé en [Chung 1986].

3.2.4 Localisation de structures à capacité illimitée

Le problème de la localisation de structures à capacité illimitée (*Uncapacitated Facility Location Problem, UFLP*¹) est un de problèmes de localisation les plus étudiés. Il est difficile de savoir avec certitude qui est le pionnier dans le problème UFLP. Il existe différentes versions. Certains attribuent la postulation du problème à [Kuehn 1963], d'autres à [Manne 1964]. La plupart des articles semblent l'attribuer à [Balinski 1964], au cours d'une conférence. Il existe aussi une référence encore plus ancienne : [Balinski 1963], qui aurait disparu, mais dont les auteurs se souviennent d'avoir écrit. En outre il existe un travail de 1963 qui pose des problème concernant l'agriculture [Stollsteimer 1963] basé sur une thèse de doctorat non publiée [Stollsteimer 1961]. En dépit de cette discussion intéressante, le problème d'UFLP a été un parmi ceux qui ont attiré davantage l'attention des chercheurs. Plusieurs revues de la littérature peuvent être trouvées comma par exemple [Krarup 1983, Labbé 1995].

Le problème peut être présenté comme suit :

Paramètres

f_j = coût fixe d'ouverture sur la localisation j ,

h_i = demande dans le nœud i ,

d_{ij} = distance entre le nœud i et la possible localisation j ,

α = coût par unité de distance et par unité de demande.

Variables de décision

X_j = 1 si la localisation en j est ouverte,

Y_{ij} = fraction de demande du nœud i servie par le nœud j .

Avec cette notation, le problème de UFLP consiste à :

$$\min \sum_j f_j X_j + \alpha \sum_{ij} h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (3.22)$$

1. Ce problème est aussi connu comme le *Simple Plant Location Problem*

sous contraintes :

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.23)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (3.24)$$

$$X_j = 0, 1 \quad \forall j \quad (3.25)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3.26)$$

La fonction objectif 3.22 minimise la somme totale des coûts d'ouverture et des coûts dépendants de la distance. La contrainte 3.23 assure que chaque noeud de demande est servi alors que 3.24 assure qu'une demande ne peut pas être affectée à une localisation si elle n'est pas ouverte. Les contraintes 3.25 et 3.26 sont les contraintes d'intégralité et spécifient la nature des variables.

Différentes approches de résolution ainsi comme de différentes applications peuvent être trouvés aujourd'hui. Dans [Efraymson 1966] les auteurs proposent un algorithme de *Branch & Bound* pour le résoudre. Les auteurs présentent des résultats dans des instances avec jusqu'à 50 installations. Depuis le début de la recherche sur le problème de localisation d'installations à capacité illimitée, les chercheurs ont montré l'efficacité du *B&B*. C'est le cas de [Bilde 1977, Erlenkotter 1978] qui ont proposé une heuristique gloutonne appelée *DUALOC*. Cette heuristique consiste à réaliser une procédure de *simple ascent* avec un ajustement. Quand la solution du problème optimal du problème primaire n'est pas produite, une procédure de *B&B* est réalisé. Cette procédure trouver les solutions optimales pour les instances de [Kuehn 1963].

En [Al-Sultan 1999] l'auteur développe une approche de recherche tabou pour résoudre le problème. L'algorithme commence avec une solution initiale. Calcule son coût total qui est gardé comme la meilleur valeur connue. Un voisinage en changeant les valeurs de X_j sont générés et pour chaque membre du voisinage, la partie d'affectation est résolue. La meilleur solution du voisinage est choisie et l'algorithme itère jusqu'un certain limite. L'algorithme trouve des solutions optimales pour plusieurs instances de la librairie-OR et de [Erlenkotter 1978]. [Sun 2006] utilise aussi la recherche tabou pour ce problème. Un pas est défini avec l'ouverture et fermeture d'une installation. Le coût de ce changement est utilisé pour mesurer sa pertinence. Après un changement le coût des futurs changement est mise à jour plutôt que recalculé, ce qui réduit les temps de calcul. Les auteurs ne présentent pas des comparaisons avec les autres algorithmes basé sur la recherche tabou développés précédemment.

[Ghosh 2003] présentent plusieurs algorithmes basés sur la recherche des voisinages. Plusieurs structures de voisinages son testées. Ensuite une recherche tabou ainsi comme un algorithme de recherche local complète avec mémoire sont développés. Cet approche peut être utilisé sur des instance de taille moyenne et grande pour obtenir des résultats avec un gap autour de 0,075% et 0,034% respectivement.

[Resende 2006] présente une méta-heuristique hybride avec départ multiple. La méthode est composée de deux étapes. La première consiste à un départ multiple avec intensification en utilisant la recherche locale. A chaque itération une solution aléatoire est générée et une procédure de *path-relinking* est utilisé pour fusionner cette solution avec une autre qui est choisie parmi les meilleures solutions. La deuxième étape consiste à une post-optimisation qui consiste à fusionner les meilleures solutions entre elles et les remplacer jusqu'à ne pas trouver une amélioration.

En [Guner 2008], l'auteur développe une approche de résolution base sur *discrete particle swarm optimization*. Ils comparent leur résultats avec d'autres approche comme les algorithmes génétiques et le recuit simulé évolutive. Dans cette approche chaque solution est considérée comme une *particule* et est caractérisée par une valeur du *fitness*, une position, une vitesse et une inertie. Une population de particules est générée au début. Dans chaque itération, la particule avec le meilleur *fitness* est choisie. Les valeurs des vitesses, inerties et positions sont recalculés. L'algorithme est arrêté après un certain nombre d'itérations. La version discrète de l'algorithme produise de meilleurs résultats que la continue et ces performances sont proches aux algorithmes génétiques et le recuit simulé.

Certains travaux on développé des extensions du problème en intégrant des contraintes nouvelles ou des aspects pratiques. C'est le cas du travail de [Averbakh 1998] où les auteurs étudient le problème où le coût de mise en service d'une installation et le coût d'affectation dépend du nombre de clients affectés. En fin, les auteurs développent une algorithme capable de résoudre le problème dans les réseaux en forme d'arbre en temps polynomial, basé sur la programmation dynamique.

Une autre extension importante est le problème multi-objective qui a été développé par [Fernández 2003]. Un algorithme exacte est présenté pour obtenir un ensemble de solutions non-dominées. Cet algorithme est basé sur l'énumération des ensembles des installations ouvertes. En fin, les auteurs trouvent des bornes inférieure et supérieure pour trouver plus rapidement un ensemble de solutions Pareto-optimales.

[Holmberg 1999] étudie le version de problème avec de coûts de transport convexes et non-linéaires. Les problème est résolu avec *Branch & Bound* avec ajustement et comparé avec une méthode basé sur la décomposition de Benders. Les auteurs on présenté des approximations à ce problème en [Holmberg 1996, Holmberg 1997]. Le premier est basé sur la procédure de *dual ascent* et le deuxième en intégrant aussi une relaxation lagrangienne avec optimisation du sous-gradient. Les performances des deux méthodes exactes proposés sont équivalentes.

3.2.5 Applications au système de santé

La plus grande partie des travaux sur la localisation des installations de santé sont centrés sur le problème de couverture. Une revue complète des études de localisation appliqués au secteur publique est proposée dans [Marianov 2001].

Dans un article précurseur [Toregas 1971], les auteurs utilisent un *set covering problem* pour localiser installation de services d'urgence. Dans [Eaton 1985], l'auteur présente un travail réalisé au sein d'un service d'urgence. Ils utilisent un modèle de couverture maximale pour évaluer différentes politiques pour la réorganisation du service d'urgence. Ils sont arrivés en 1984 à épargner plusieurs millions de dollars tout en diminuant le temps de réponse. Plusieurs travaux ont utilisé les modèles de couverture maximale dans le système de santé. Un exemple est proposé dans [Jia 2007], où les auteurs introduisent aussi le concept de quantité de couverture et de qualité de couverte. De plus, ils explorent trois approches de résolution différentes : (i) algorithmes génétiques, (ii) heuristique et (iii) heuristique avec la relaxation lagrangienne.

[Syam 2010] utilisent un modèle de localisation dans le cadre d'organisations de santé a but non lucratif. Le modèle est résolu en utilisant le recuit simulé. En fin, ils étudient l'effet produits par : (i) le niveau de centralisation des services, (ii) le rôle de retenir les patients dans la structure comme fonction de la distance au traitement et (iii) la densité géographique des régions.

[Kim 2010] présentent une application pour les installations de santé à long terme avec l'objectif d'équilibrer la charge de patients dans les installations. Finalement ils utilisent un algorithme de *Branch & Bound* pour résoudre le problème.

Un grand champ de recherche est celui de la localisation d'ambulances. Une revue de la littérature est proposée dans [Brotcorne 2003]. Ici, les auteurs étudient trois catégories de problèmes : (i) déterministes où les aléas du système sont négligeables, (ii) stochastiques, et (iii) dynamiques (re-localisation des ambulances à différent moments dans l'horizon de temps). La plupart des problèmes étudiés dans cet article ont pour objectif de maximiser la couverture ou l'espérance de couverture. [Chanta 2011] utilise un modèle de couverture bi-objective pour améliorer le temps les service d'urgence dans les zones rurales. La localisation des ambulances en utilisant les modèles classiques de couverture peut résulter en solutions qui favorisent les régions avec une dense population. Le modèle bi-objective compense ce phénomène en intégrant les temps de réponse des régions rurales dans la fonction objective.

3.3 Modèle mono-période pour la localisation de structures de SMAD

Le problème de la localisation des structures de SMAD peut être modélisé sous la forme d'un problème de localisation multi-ressources, multi-installations appliqué aux soins à domicile. Ce problème consiste au déploiement des structures de SMAD dans un territoire pour répondre efficacement à la demande. Les décisions d'ouverture ou non des structures ne peut être prises sans tenir compte de plusieurs éléments tels que les autorisations de délivrance de soins de certaines pathologies, les besoins en ressources ou de l'évolution de la demande dans le temps et dans l'espace. La demande liée à certaines pathologies nécessite une autorisation et la présence de certaines ressources particulières. Cette autorisation doit être renouvelée après un certain temps et est donnée par les autorités de santé.

3.3.1 Modélisation mathématique

Demande. Étant donné que le problème se situe au niveau stratégique, nous ne nous intéressons pas au traitement de chaque patient individuellement. Le territoire est décomposé en zones. La demande est représentée par une quantité dans chaque zone et pour chaque pathologie. Les zones sont supposées connues, étant donné que la division des territoires est une pratique courante pour les autorités de santé. Plusieurs pathologies $p \in P$ sont prises en compte. Chaque pathologie est liée à un besoin en ressources τ_{pr} (quantité de ressource $r \in R$ requis pour satisfaire une unité de demande de la pathologie p).

Le territoire est divisé en J zones. Chaque zone a une certaine quantité de demande δ_{jp} (en unités de demande).

Certaines pathologies nécessitent une autorisation spéciale. Pour l'obtenir, la structure doit s'acquitter d'un coût fixe et embaucher une quantité minimale de ressources d'un certain type. Par exemple, si la structure est intéressée par la délivrance de services en périnatalité, elle doit compter avec une infirmière spécialisée (ressource minimale) et payer la mise en place des traitements (matériel, formations, etc.). Nous supposons ici que les autorisations sont pathologie-dépendantes.

Ressources. Seules les ressources humaines sont prises en compte (on ne prend pas en compte les ressources matérielles et les médicaments). Chaque ressource a une capacité q_r en nombre de traitements qu'elle peut délivrer. Chaque ressource est aussi caractérisée par un coût fixe ou salaire a_r . De plus, quand la demande est affectée à une ressource, le transport entre la structure et les domiciles des patients est modélisé par un certain pourcentage qui dépende de la distance d_{ij} . Par exemple, si le besoin en ressource vaut 3 heures de temps *IDE* et que cette ressource a un facteur d'impact de distance de 1%, le besoin en ressource sera de 3,3 heures pour

50 Chapitre 3. Localisation des structures de soins médicaux à domicile

une demande située à une distance de 10 de la structure de SAD.

Coûts On suppose que la liste de localisations et que la demande sont déterministes. Les coûts sont liés aux décisions possibles :

1. La décision d'ouvrir ou non une installation à la localisation i et représentée par un coût fixe f_i . Ce coût comprend tous les frais d'ouverture d'une installation indépendamment des ressources dont elle a besoin.
2. L'affectation des demandes génère les coûts d'affectation qui dépendent à la fois de la distance d_{ij} et de la demande δ_{jp} . Quand une demande n'est affectée à aucune installation, il faut payer un coût de pénalisation c_p qui représente le traitement de la demande à l'hôpital.
3. Lorsqu'une installation est autorisée à délivrer un service pour une certaine pathologie p , le coût d'autorisation γ_p doit être payé.
4. Chaque ressource du type r génère un coût salarial a_r .

Affectation de la demande. Une demande peut être servie par une structure de SMAD ou non. Quand une demande est affectée, un coût d'affectation doit être payé, le cas échéant un coût de pénalisation.

Ensembles et indexes

- P ensemble de pathologies indexé par p ,
- R ensemble de ressources indexé par r ,
- J ensemble de zones indexé par j ,
- I ensemble de localisations possibles pour les structures, indexé par i .

Paramètres

- δ_{jp} demande de la pathologie p de la zone j ,
- d_{ij} distance entre la zone j et la structure de SMAD i ,
- q_r capacité ou charge maximale d'une unité de ressource r ,
- ξ_r charge de travail de la ressource r induite par chaque unité de distance à parcourir entre sa localisation et les patients. Cette charge induite par la distance diffère entre les ressources qui déplacent peu comme les médecins coordinateurs et les ressources qui déplacent à chaque séance de soin comme les infirmiers,
- τ_{pr} charge de travail de ressource r pour le soin d'un patient de pathologie p . Ainsi, la prise en charge d'un patient p de la zone i par la structure i génère une charge totale de travail de $\tau_{pr} + \xi_r d_{ij}$ pour les ressources r ,
- η_{pr} nombre minimal de ressource r nécessaire pour l'autorisation de la pathologie p .

3.3. Modèle mono-période pour la localisation de structures de SMAD

Coûts

- c_p coût de pénalisation quand une unité de demande du type p ne peut pas être servie par les structures de SMAD,
- f_i coût d'ouverture d'une structure dans la localisation i ,
- a_r coût d'une unité de la ressource r ,
- γ_p coût de l'autorisation pour délivrer de soins du type p ,
- 1 coût d'affectation par unité de demande par unité de distance. Sans perte de généralité, nous avons défini le coût d'affectation comme le coût de déplacement. Ce dernier est supposé proportionnel à la distance d_{ij} et la demande δ_{jp} avec un coût unitaire normalisé à 1.

Variables de décision

- $Y_i = 1$ si une structure de SMAD est ouverte en i , 0 sinon,
- $X_{jpi} = 1$ si la demande du type p de la zone j est servie par une structure localisée en i . L'hypothèse de *single sourcing* est utilisée ici et chaque demande (p, j) est satisfaite par au plus une structure,
- Z_{ip} si la structure en i est autorisée à offrir de soins du type p ,
- n_{ir} nombre de ressources r à recruter pour la structure localisée en i .

Les différents coûts sont définis comme suit :

- le coût total d'ouverture des structures : $\sum_i f_i Y_i$,
- le coût total d'affectation des demandes : $\sum_{pji} \delta_{jp} d_{ij} X_{jpi}$,
- le coût total des ressources : $\sum_{ir} a_r n_{ir}$,
- le coût total d'autorisation des pathologies : $\sum_{ip} \gamma_p Z_{ip}$,
- le coût total de pénalisation des demandes non satisfaites en une structure de SMAD : $\sum_{pj} c_p \delta_{jp} (1 - \sum_i X_{jpi})$.

Ainsi le problème de localisation de structures de soins médicaux à domicile peut être écrit comme suit :

$$\min \sum_i f_i Y_i + \sum_{pji} \delta_{jp} d_{ij} X_{jpi} + \sum_{ir} a_r n_{ir} + \sum_{ip} \gamma_p Z_{ip} + \sum_{pj} c_p \delta_{jp} \left(1 - \sum_i X_{jpi} \right) \quad (3.27)$$

sous contraintes :

$$\sum_{pj} (\tau_{pr} + \xi_r d_{ij}) \delta_{jp} X_{jpi} \leq n_{ir} q_r \quad \forall i, r \quad (3.28)$$

$$\sum_i X_{jpi} \leq 1 \quad \forall j, p \quad (3.29)$$

$$\sum_j X_{jpi} \leq Z_{ip} \quad \forall i, p \quad (3.30)$$

$$Z_{ip} \leq Y_i \quad \forall i, p \quad (3.31)$$

$$\eta_{pr} Z_{ip} \leq n_{ir} \quad \forall p, i, r \quad (3.32)$$

$$X_{jpi}, Y_i, Z_{ip} = 0, 1 \quad \forall i, j \quad (3.33)$$

$$n_{ir} \in \mathbb{Z}^+ \quad \forall i, r \quad (3.34)$$

La fonction objectif 3.27 minimise la somme des coûts d'ouverture, d'affectation, de salaires, d'autorisation et de pénalisation. La contrainte 3.28 est la contrainte de capacité. La contrainte 3.29 stipule que chaque pathologie de chaque zone peut être affectée seulement à une installation tandis que la contrainte 3.30 garantit que pour affecter une demande d'une certaine pathologie il faut compter avec l'autorisation correspondante. La contrainte 3.31 assure qu'aucune autorisation ne peut être donnée si l'installation n'est pas ouverte. La contrainte 3.32 assure la quantité minimale de ressources pour avoir une autorisation. Finalement les contraintes 3.33 et 3.34 définissent la nature des variables.

On peut montrer que le problème de localisation de structures de soins médicaux à domicile est NP-difficile. Si on suppose que les coûts d'autorisation, de salaires et de pénalisation sont nuls on retrouve le problème traditionnel de localisation-affectation qui est NP-difficile [Garey 1979]. Avec le même raisonnement on peut montrer que le problème de localisation de structures de SMAD contient aussi le problème de *knapsack* comme cas particulier.

3.3.2 Performance du modèle

Deux expérimentations numériques sont présentées dans cette section. La première sert à évaluer la complexité numérique du modèle, la deuxième est une application réelle à travers d'une analyse de sensibilité pour analyser comment les stratégies de localisation varient en fonction des différents paramètres clés du problème.

La première partie de l'expérimentation a pour but de déterminer la performance du modèle par rapport à la taille du problème (taille des ensembles J, P, I, R). Ces expériences ont été réalisées en générant de manière aléatoire des instances à partir des données réelles. Les informations nécessaires pour concevoir les jeux d'essai sont extraites de données telles que la demande, les traitements, les maladies, les besoins en ressources et les coûts. Ces informations sont proposées par des organismes pu-

3.3. Modèle mono-période pour la localisation de structures de SMAEB

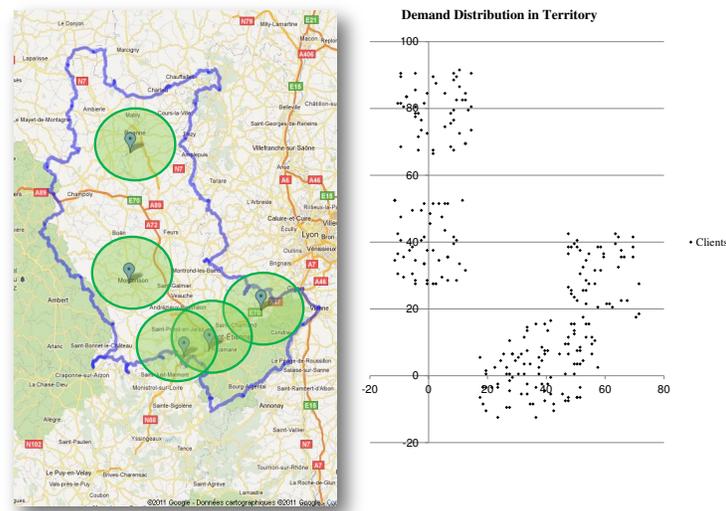


FIGURE 3.2 – Exemple de l'abstraction des données à partir de la réalité

blics tels l'ATIH.

La demande dans la région Rhône-Alpes et plus particulièrement celle dans le département de la Loire est obtenue et classifiée en fonction de la pathologie. Nous supposons que cette demande est répartie autour d'un centre urbain avec un certain rayon. Avec cette information, nous pouvons construire différents scénarios (partie droite de la Figure 3.2).

Pour connaître la performance et le comportement du modèle face à l'évolution de la taille de problèmes, différents scénarios ont été générés en changeant le nombre de localisations possibles, de zones de demande, de pathologies et des types de ressources. 30 instances ont été générées pour chaque configuration et des indicateurs de performance ont été calculés. Afin de générer des données d'entrée, des valeurs aléatoires ont été utilisés. Les limites de ces valeurs sont présentées dans le Tableau 3.1. Une distribution uniforme est utilisée. Pour les testes de performance le zones on été réparties aléatoirement suivant une loi uniforme à l'intérieur d'un carré de dimensions 100x100 UD. Ensuite les distances sont calculées et l'algorithme de Floyd-Warshall est utilisé pour garantir la cohérence géographique du territoire. Pour les basés sur la réalité, les zones correspondent aux communes du département de la Loire que se trouvent autour des principaux centres urbains. Ces zones sont détaillés dans le tableau C.1 et présentées graphiquement dans la figure C.1.

Les scénarios ont été testés sur un processeur Intel(R) Dual-Core avec 2.2Ghz

Paramètre	Signification	Intervalle
δ_{jp}	Demande	[0;80]
q_r	Capacité	[150;190]
ξ_r	Facteur de mobilité de la ressource	[0%;5%]
τ_{pr}	Besoins en ressource	[0,2;2,5]
η_{pr}	Ressources pour l'autorisation	[0;2]
γ_p	Coût fixe d'autorisation	[100.000;125.000]
c_p	Pénalisation	∞
a_r	Salaire	[50.000;100.000]
f_i	Coût d'ouverture	[500.000;750.000]
Distribution de zones dans le territoire		UNIF[0;100]

TABLE 3.1 – Valeurs de paramètres pour la génération des scénarios.

en utilisant la procédure Branch & Bound de Ilog-Cplex v12.0. Les résultats de différents groupes d'instances sont présentés dans le Tableau 3.2. Cinq groupes d'instances aléatoires ont été testées. Deux critères d'arrêt pour l'algorithme de résolution ont été utilisés : (i) un gap d'optimalité entre la borne inférieure et la meilleure solution trouvée et (ii) un temps de calcul maximal pour les instances de grande taille. Dans les trois premiers groupes de configurations, trois valeurs différentes pour le gap ont été testées : 0,5%, 0,1% et 0,05%. Dans les deux derniers groupes, nous avons en outre inclus le critère de temps de calcul limité à 900 secondes. La quatrième colonne indique le temps de résolution et la cinquième précise le gap obtenu. Enfin, dans les groupes IV et V, les deux dernières colonnes donnent le nombre et le pourcentage des instances arrêtées par la limite du temps de calcul.

Le comportement général est le même : on trouve une solution avec un gap de 5% très rapidement, mais la réduction de ce gap est de plus en plus difficile, surtout pour les instances de grande taille. Les résultats des groupes I et II nous permettent de comprendre l'effet d'une augmentation de la quantité de ressources et les groupes I et III, de la croissance du nombre de pathologies. Dans cette version du problème (mono-période) le changement du nombre de maladies affecte peu le temps de résolution de l'algorithme. Les résultats des groupes I et IV nous permettent de comprendre le changement dû à la croissance des localisations potentielles. Enfin, les résultats de IV et V montrent l'effet du changement en raison du nombre de zones de demande.

Ainsi, on peut voir que les deux paramètres qui influent sur le temps de résolution du problème sont le nombre de zones de demande et le nombre de localisations potentielles. Comme mentionné ci-dessus, dans les groupes IV et V deux critères différents ont été utilisés pour mettre fin à l'algorithme. Dans le Tableau 3.2 on

3.3. Modèle mono-période pour la localisation de structures de SMA^{DS}

peut voir le nombre de cas dans lesquels le temps de calcul de 900 secondes ne suffit pas pour trouver une solution avec un gap désiré. Cette information sert de complément aux résultats en termes de temps de résolution.

Groupe	Configuration	Limite gap	CPU (s)	gap final		
I	5.50.5.5.1.1	0,5%	0.665	0.108%		
		0,1%	1.451	0.086%		
		0,05%	65.373	0.047%		
II	5.50.5.10.1.1	0,5%	0.665	0.149%		
		0,1%	5.538	0.088%		
		0,05%	131.429	0.049%		
III	5.50.10.5.1.1	0,5%	1.324	0.045%		
		0,1%	1.343	0.044%		
		0,05%	2.306	0.036%		
		Limite gap	CPU (s)	Gap final	Instances avec temps limite	
IV	20.50.5.5.1.1	0,5% - 900 sec.	4.483	0.341%	00/30	0%
		0,1% - 900 sec.	529.598	0.126%	12/30	40%
		0,05% - 900 sec.	755.259	0.086%	23/30	77%
V	20.100.5.5.1.1	0,5% - 900 sec.	6.754	0.255%	00/30	0%
		0,1% - 900 sec.	685.141	0.136%	15/30	50%
		0,05% - 900 sec.	931.883	0.120%	24/30	80%

Une configuration *5.50.5.5.1* signifie *5* localisations possibles, *50* zones de demande, *5* pathologies, *5* types de ressources et *1* groupe de patients.

TABLE 3.2 – Performance du modèle dans plusieurs configurations

3.3.3 Application du modèle à un cas réel

Pour appliquer le modèle à un exemple réel, plusieurs paramètres doivent être estimés. Pour définir la demande et la répartition géographique, les données démographiques et épidémiologiques trouvées dans la base de données de l'ATIH ont été utilisées. Un exemple de ces données sur le département de la Loire est présenté Figure C.1. Le territoire est effectivement divisé en zones.

Autour de chacun des centres urbains, un groupe de patients a été défini. Nous supposons que les patients sont normalement distribués sur le territoire autour des centres urbains. La quantité de demande dans chaque zone est proportionnelle à la densité de population. Cette procédure génère une distribution de patients similaire à celle décrite dans la Figure 3.2. Les différentes zones du territoire avec la quantité de population respective peuvent être consultées dans le Tableau C.1. Pour réaliser

56 Chapitre 3. Localisation des structures de soins médicaux à domicile

cet tableau on a choisi les principaux centres urbains du département de la Loire : (i) Roanne, (ii) St-Just-St-Rambert, (iii) Feurs, (iv) St-Chamond, (v) St-Etienne et (vi) Montbrison. Ensuite on a choisi des communes autour de ces centres urbains. Les communes équidistantes de deux centres urbains sont divisées en deux, comme par exemple La-Fouillouse-1 et La-Fouillouse-2.

Sur le département de la Loire, il y a eu un total de 72.074 journées de HAD en 2011, selon [ATIH 2011]. Dans la même période il y a eu 1.687 séjours. Parmi tous les modes de prise en charge présentés dans ce département, deux ont été retenus pour cette application : (i) les soins palliatifs et (ii) la prise en charge de la douleur. Les premier correspond à un total de 23.039 journées (32%) et 582 séjours (34%) alors que le deuxième correspond à 8.594 journées (12%) et 297 séjours (18%). Il existe une difficulté pour modéliser les soins palliatifs, puisqu'ils ne sont pas spécifiquement définis. Autrement dit, il existe une grande variabilité entre les sessions par rapport au type de ressources employées, au matériel utilisé. Dans une application plus approfondie, ces aspects peuvent être étudiés en détail. Nous supposons ici que les valeurs moyennes constituent une bonne estimation d'un type de session.

Le paramètre de demande δ_{jp} du modèle est estimé selon la formule :

$$\delta_{jp} = D_p \frac{\pi_j}{\sum_j \pi_j} \quad (3.35)$$

où π_j est la population de la zone j et D_p est la demande totale pour la pathologie p sur le territoire. De cette façon, les demandes par zone peuvent être estimées. Un exemple de cette estimation est présenté dans le Tableau C.2.

Pour modéliser les besoins ainsi que les coûts des ressources, l'enquête nationale de coûts réalisée par l'ATIH [ATIH 2011] a été utilisée. Les différents coûts journaliers des intervenants, de coordination et de logistique sont décomposés et présentés dans le tableau 3.4. Pour chacune des cinq ressources choisies (IDE, Aide soignant, Coordination, Administration et Accueil) le salaire a été estimé en utilisant la grille indiciaire de la fonction publique hospitalière multiplié par trois (pour prendre en compte les charges additionnelles à l'intérieur de la structure).

- IDE : Infirmier de soins, classe normal, 6ème échelon, 5.834,16 EUR.
- Aide Soignante : Aide soignante, classe normal, 6ème échelon, 4.389,51 EUR.
- Administration : Cadre de santé et cadre supérieur de santé, 6ème échelon 7.306,59 EUR.
- Coordination et Accueil : Secrétaire médicale classe normale 6ème échelon 4.889,58 EUR.

Pour chacune des pathologies, la répartition du coût total entre chacune des ressources est connue. Il est plus simple d'estimer la durée d'une session que la charge de chacune des ressources. Pour cette raison, l'information sur les coûts est utilisée

3.3. Modèle mono-période pour la localisation de structures de SMA 57

pour calculer une charge relative. Avec la charge relative de chaque type de ressource, les besoins pourront être calculés. Ce calcul est présenté dans le tableau 3.3. Après avoir divisé le salaire par 30, on obtient le salaire journalier (deuxième colonne). En divisant le coût de la journée de soins (66,10 EUR pour l'IDE par exemple) avec ce coût journalier on obtient la charge de la ressource par journée de soin (quatrième colonne). Les coûts journaliers de chacune des ressources est présenté dans le tableau 3.4. Finalement on normalise cette charge parmi tous les types de ressources et on calcule la charge relative.

Connaissant la charge relative il est simple d'estimer les besoins en ressource en ayant une estimation de la durée totale de la séance de soin. Par exemple, pour l'IDE et les soins palliatifs, si on considère qu'une séance dure 3h, en multipliant cette durée par la charge relative de la ressource IDE on obtient que le besoins pour ce type de ressource est de 1h30.

Ressource	Salaire x3	Salaire journalier	Charge journée		Charge relative	
			p0	p1	p0	p1
IDE	5834.16	194.472	0.339	0.282	0.40	0.4
Aide S.	4389.51	146.317	0.202	0.139	0.24	0.20
Admin.	7306.59	243.553	0.141	0.145	0.17	0.21
Coord.	4889.58	162.986	0.109	0.102	0.13	0.14
Accueil	4889.58	162.986	0.062	0.038	0.07	0.05

p0=Soins Palliatifs, p1=PEC de la douleur

TABLE 3.3 – Détail estimation de la charge relative.

Il est important de rappeler que notre objectif consiste à étudier les moyens d'appliquer le modèle présenté précédemment à un exemple réel. L'estimation de paramètres peut cependant présenter des erreurs quantitatives. Ainsi il est nécessaire d'analyser avec soin les solutions, qui peuvent au minimum donner une idée de l'ordre de grandeur des résultats obtenus. Toutes ces données peuvent être affinées selon les spécificités du territoire étudié.

L'estimation des ressources minimales nécessaires pour obtenir l'autorisation est subjective dans ce cas. Cependant, pour une application réelle, ces données sont facilement calculables. Le Tableau C.5 de l'Annexe C présente la quantité minimale de chaque ressource nécessaire pour obtenir l'autorisation.

Mode de PEC	Intervenants		Coordination	Logistique	
	IDE	Aide S.	Coord.	Admin.	Accueil
0. Soins Palliatifs	66.1 (60%)	29.5 (27%)	34.4 (100%)	17.7 (41%)	10.1 (23%)
	110		34.4	43.4	
1. PEC de la douleur	54.8 (64%)	20.4 (24%)	35.3 (100%)	16.6 (48%)	6.2 (18%)
	85.6		35.3	34.8	

TABLE 3.4 – Coûts des deux pathologies analysées selon l’enquête nationale de coûts

3.3.4 Expérimentation et résultats

Le plan d’expérience consiste à faire varier deux facteurs : (i) la structure des coûts et (ii) le coût de pénalisation (coût de l’alternative à l’hospitalisation à domicile). Une liste d’indicateurs indiquée ci-dessous permettra d’analyser les effets de ces changements :

- Nombre de structures de HAD ouvertes.
- Nombre de traitements HAD / alternative (pénalisation).
- Distance moyenne HAD–patients.
- Distance maximale HAD–patient.
- Coût total par traitement admis en HAD.
- Nombre de zones couvertes.

Trois situations différentes sont analysées à l’aide des paramètres économiques du modèle. La première est une situation dans laquelle les traitements sont dispensés dans des structures *lourdes* comme les hôpitaux. Ainsi, les coûts d’ouverture sont relativement élevés par rapport au coût des ressources. Dans la seconde, les structures sont légères, donc le rapport entre les deux est plus petit. Enfin un scénario où le coût d’ouverture et d’autorisation est bas par rapport au coût des ressources. Un exemple de la distribution des zones et des localisations possibles est présenté figure 3.3.

3.3. Modèle mono-période pour la localisation de structures de SMA

Scé- nario	Structure de coûts						Résultats					
	Ouvert	Salaire	Autori- sation	Pénalisation	Nb HAD ouverts	Nb Traitements HAD	Distance moyenne	Distance maximale	Coût moyen par traitement	nb Zones couvertes		
I	515.959	71.233	106.775	∞	18	4 154	2.917	5.667	69 575.505	59(0) 59(1)		
II	51 596	71 233	106 775	∞	22	4 154	2.857	5.667	64 538.082	59(0) 59(1)		
III	5 159	71 233	106 775	∞	22	4 154	2.857	5.667	64 135.722	59(0) 59(1)		
IV	51 596	7 123	106 775	∞	12	4 154	3.472	6.078	09 891.778	59(0) 59(1)		
V	51 596	712	106 775	∞	8	4 154	4.048	6.982	3 790.085	59(0) 59(1)		
VI	51 596	71 233	10 677	∞	23	4 154	2.676	5.667	63 413.378	59(0) 59(1)		
VII	51 596	71 233	1 067	∞	23	4 154	2.676	5.667	63324.769	59(0) 59(1)		
VIII	51 596	71 233	106 775	100.000	22	4 154	2.857	5.667	64 538.082	59(0) 59(1)		
IX	51 596	71 233	106 775	50.000	21	4 030	2.667	4.573	59 070.14	53(0) 52(1)		

TABLE 3.5 – Paramètres du plan d'expérience

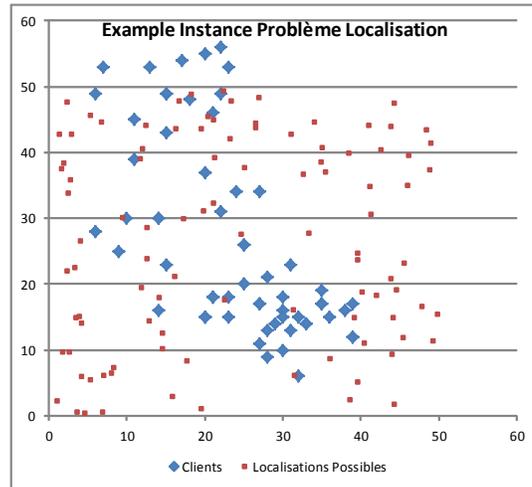


FIGURE 3.3 – Exemple de distribution géographique des patients et localisations possibles

3.3.5 Discussion

Les résultats du plan d'expérience nous permettent de conclure sur plusieurs points. La première constatation intéressante est que la couverture n'est pas affectée par des changements dans la structure de coûts (autres que le coût de l'alternative aux soins à domicile ou coût de pénalisation). Les trois premiers scénarios permettent d'analyser l'effet d'un changement dans le coût fixe de l'ouverture dans les indicateurs de performance préalablement établis. Comme on le voit dans le tableau 3.5 le nombre de structures ouvertes diminue avec l'augmentation du coût comme prévu. Une réduction de 90% du coût fixe d'ouverture représente une augmentation de 22% du nombre de structures ouvertes. De même, il existe une légère diminution de 2,06% de la distance moyenne entre les patients et les structures. Nous constatons aussi qu'une diminution supplémentaire (scénarios II et III) ne produit aucun changement dans les indicateurs de performance autres que le coût moyen de traitement.

Par ailleurs, les scénarios I, IV et V sont destinés à évaluer l'impact d'une variation du coût des ressources. Il s'agit du coût le plus important dans le modèle, puisqu'il provoque une variation allant jusqu'à 94% du coût moyen du traitement. Ceci est important car il peut conduire à des politiques de santé qui affectent le coût des ressources. De même, le coût affecte le nombre de structures ouvertes : lors de la diminution du coût des ressources, les structures peuvent embaucher plus de gens, ce qui rend d'autres structures inutiles. Cependant il est clair que la distance moyenne entre les patients et les structures augmente (jusqu'à 39%) entre les scénarios I et V.

3.4. Modèle multi-période pour la localisation de structures de SMAD

Les scénarios VI et VII montrent que le coût fixe d'autorisation ne change pas les indicateurs de performance, contrairement à ce qui était attendu. Une comparaison entre le scénario I (où il y a 18 installations ouvertes) et VI ou VII (où il y a 23) montre que l'existence de plus d'installations ouvertes réduit la distance moyenne entre les patients et les structures, comme attendu. En comparant le scénario II et le VI on remarque que la diminution dans le coût d'autorisation permet d'ouvrir une structure additionnelle en améliorant à la fois la distance moyenne entre les patients et les structures.

Le coût de l'alternative aux SMAD ou coût de pénalisation est aussi important dans la structure des coûts. Ce paramètre permet de modifier les indicateurs de couverture. Avec un plan d'expérience assez grand il peut être trouvé une valeur de ce paramètre pour laquelle la couverture ne change pas. Ce valeur (ou une estimation) pourrait être importante pour le décideur puisqu'elle détermine une valeur à partir de laquelle il est moins chère utiliser l'alternative aux SMAD.

Dans la suite, nous introduisons une extension de ce modèle pour tenir compte de l'évolution du système dans le temps.

3.4 Modèle multi-période pour la localisation de structures de SMAD

Le modèle précédent traite le problème du choix de l'emplacement des structures de soins médicaux à domicile dans un territoire divisé en zones. Nous proposons maintenant une extension au cas multi-période pour prendre en compte l'évolution du système de santé dans le temps.

Nous considérons un horizon discrétisé en plusieurs intervalles $t \in T$. Certains éléments du modèle de base varient dans le temps. La demande δ_{jpt} de chaque zone et de chaque pathologie évolue dans le temps. Une autorisation de prise en charge d'une pathologie est accordée pour une durée de temps α limitée et la demande d'autorisation doit être renouvelée à l'issue de cette durée.

Les différents périodes de temps sont liées grâce à la définition des ressources. Le modèle permet donc de décider comment les ressources évoluent dans le temps au travers de la variable $\overline{Q_{irt}}$ (resp. $\overline{Q_{irt}}$) qui représente le nombre de ressources du type r recrutées (resp. licenciées) au début de la période t dans la structure i . Cette décision est liée à des coûts administratifs représentés par le paramètre $\overline{a_r}$ (resp. $\overline{a_r}$) de recrutement (resp. licenciement). De cette façon, le problème multi-période de la localisation des structures de soins à domicile peut être décrit comme suit :

Indices

- P ensemble de pathologies indexé par p ,
- R ensemble de ressources indexé par r ,
- J ensemble de zones indexé par j ,
- I ensemble de localisations possibles pour les structures, indexé par i ,
- T ensemble de périodes de temps indexé par t .

Paramètres

- δ_{jpt} demande du type p de la zone j dans la période t ,
- d_{ij} distance entre la zone j et la localisation i ,
- q_r charge maximale d'une unité de ressource r ,
- ξ_r charge de travail de la ressource r induite par chaque unité de distance à parcourir entre sa localisation et les patients,
- τ_{pr} charge de travail de ressource r pour le soin d'un patient de pathologie p ,
- η_{pr} nombre minimal de ressource r nécessaire pour l'autorisation de la pathologie p ,
- α nombre de périodes de validité d'une autorisation.

Coûts

- c_p coût de pénalisation quand une unité de demande du type p ne peut pas être servie,
- F_i coût fixe d'ouverture de la structure i ,
- f_i coût de fonctionnement par période de la structure i ,
- a_r coût par période d'une ressource r ,
- \bar{a}_r coût de recrutement d'une ressource r ,
- $\overline{\bar{a}_r}$ coût de licenciement d'une ressource r ,
- γ_p coût de l'autorisation pour délivrer de soins du type p .

Variables de décision

- $Y_{it} = 1$ si une structure est ouverte en i en période t , 0 sinon,
- $X_{jpit} = 1$ si la demande du type p de la zone j est servie par une structure localisée en i sur la période t , 0 sinon,
- $\overline{Q_{irt}}, \overline{\overline{Q_{irt}}}$ nombre de recrutements, licenciements au début de la période t ,
- Z_{ipt} une variable binaire indiquant si une nouvelle autorisation est demandé en période t par la structure i pour la pathologie p ,
- n_{irt} nombre de ressources r disponibles dans la structure i pendant la période t .

De cette façon le problème de localisation de structures de soins médicaux à domicile à plusieurs périodes peut être écrit comme suit :

$$\min \sum_i F_i Y_{iT} + \sum_{i,t} f_i Y_{i,t} + \sum_{t,i,p} \gamma_p Z_{ipt} \quad (3.36)$$

$$+ \sum_{t,i,r} a_r n_{irt} + \sum_{i,r,t} (\bar{a}_r \overline{Q_{irt}} + \overline{\bar{a}_r} \overline{\overline{Q_{irt}}}) \quad (3.37)$$

$$+ \sum_{t,p,j,i} \delta_{jpt} d_{ij} X_{jpit} + \sum_{t,p,j} c_p \delta_{jpt} (1 - \sum_i X_{jpit}) \quad (3.38)$$

3.4. Modèle multi-période pour la localisation de structures de SMA

sous contraintes :

$$\sum_{p,j} (\tau_{pr} + \xi_r d_{ij}) \delta_{jpt} X_{jpit} \leq n_{irt} q_r \quad \forall i, r, t \quad (3.39)$$

$$\sum_i X_{jpit} \leq 1 \quad \forall j, p, t \quad (3.40)$$

$$\sum_j X_{jpit} \leq \sum_{t''=t-\alpha}^t Z_{ipt''} \quad \forall p, i, t \quad (3.41)$$

$$Z_{ipt} \leq Y_{it} \quad \forall i, p, t \quad (3.42)$$

$$\eta_{pr} \sum_{t''=t-\alpha}^t Z_{ipt''} \leq n_{irt} \quad \forall p, i, t, r \quad (3.43)$$

$$Y_{it} \leq Y_{i,t+1} \quad \forall i, t \quad (3.44)$$

$$n_{irt} = n_{irt-1} + \overline{Q_{irt}} - \overline{Q_{irt}} \quad \forall i, r, t \quad (3.45)$$

$$Y_{it}, Z_{ipt}, X_{jpit} = \{0, 1\} \quad \forall i, t \quad (3.46)$$

$$n_{irt}, \overline{Q_{irt}}, \overline{Q_{irt}} \in N^+ \quad \forall r, i \quad (3.47)$$

La première partie de la fonction objectif (3.36) est la somme des coûts fixes associés avec la structure et les autorisations. Le coût F_i est payé à l'ouverture d'une structure. La deuxième partie (3.37) est relative aux salaires et aux coûts de recrutement et de licenciements. Finalement la troisième partie (3.38) modélise les coûts d'affectation et de pénalisation des demandes.

La contrainte 3.39 est la contrainte de capacité. La contrainte 3.40 assure que une pathologie d'une région dans un créneau de temps peut être affectée à une seule installation. La contrainte 3.41 garantit que l'affectation ne peut être réalisée que si la structure possède l'autorisation. La contrainte 3.42 assure que l'autorisation ne peut être donnée qu'aux structures ouvertes. La contrainte 3.43 assure l'existence de la quantité minimale de ressources pour l'autorisation. La contrainte 3.44 assure que les structures ouvertes ne peuvent pas être fermées. La contrainte 3.45 est la définition de la quantité d'unités de ressources à l'intérieur des structures. Les contraintes 3.46 et 3.47 définissent la nature des variables.

Le système évolue dans le temps en fonction de l'évolution de la demande. Ainsi les ouvertures de différentes structures sont réparties dans le temps et les capacités des ressources sont ajustées pour être en phase avec les demandes. Le but du problème n'est pas seulement de décider des localisations optimales mais aussi du timing de leur ouverture et de l'ajustement de la répartition des ressources.

3.4.1 Performance du modèle

Le Tableau 3.7 présente les paramètres utilisés pour réaliser les tests de la complexité numérique et les résultats sont présentés dans le tableau 3.2. Les résultats en

64 Chapitre 3. Localisation des structures de soins médicaux à domicile

termes de temps de calcul sont sensibles à l'augmentation du nombre de périodes de temps. Il est envisageable de développer des méthodes de résolution adaptées pour ce problème, en particulier pour de grandes instances. Compte tenu que ce problème est de nature stratégique, ce point ne sera pas approfondit dans ce travail.

Groupe	Configuration	Limite	CPU (s)	Gap final	Instances avec temps limite	
I	5.50.5.5.5	0,5% - 900 s	4,512	0,287%	0	0
		0,1% - 900 s	291,802	0,090%	6	20%
		0,05% - 900 s	891,725	0,077%	25	83,3%
II	5.50.5.5.10	0,5% - 900 s	14,395	0,351%	0	0%
		0,1% - 900 s	613,671	0,123%	10	33,3%
		0,05% - 900 s	1260,821	0,113%	25	83,3%

Une configuration 5.50.5.5.5 signifie 5 localisations possibles, 50 zones de demande, 5 pathologies, 5 types de ressources et 5 périodes de temps.

TABLE 3.6 – Performances du modèle multi-période

3.4.2 Application du modèle à un cas réel

Les données utilisées pour la partie 3.3.3 sont réutilisées ici. L'évolution de la demande peut être trouvée dans les bases de données publiques. La figure 3.4 présente l'évolution de la demande des deux modes de PEC en Rhône-Alpes depuis 2005 jusqu'à 2011. On peut déduire deux choses : (i) le nombre de séjours de la PEC de la douleur augmente de manière sensible après 2009, et (ii) la croissance du nombre de séjours de soins palliatifs ralentit entre 2010 et 2011.

3.4.3 Expérimentation et résultats

Le plan d'expérience de cette section a pour objectif de mieux comprendre le comportement des solutions du modèle face aux variations des paramètres suivants : le profil de la demande dans le temps, la validité d'une autorisation, les coûts de recrutement et de licenciement. Trois profils de demande sont considérés : (i) augmentation de la demande, (ii) diminution de la demande, et (iii) demande aléatoire.

Comme pour la section précédente, les changements seront mesurés à l'aide des indicateurs de performance visant à comprendre l'évolution des solutions. En plus des indicateurs de la section précédente, nous considérons la capacité inutilisée en moyenne, le nombre de traitements non pris en charge et une mesure de changements du nombre de ressources disponibles comme facteur de stabilité et qui sera

3.4. Modèle multi-période pour la localisation de structures de SMA 65

Paramètre	Valeurs des paramètres	
	Nom du paramètre	Valeurs de la distribution
δ_{jpt}	Demande	[0,80]
q_r	Charge maximale de la ressource	[150,190]
ξ_r	Charge indue par la distance	[0%,5%]
τ_{pr}	Besoins en ressource	[0.2,2.5]
η_{pr}	Ressources pour l'autorisation	[0,2]
α	Périodes de validité de autorisation	2
\bar{a}_r	Coût de recrutement	[3 000,6 000]
$\bar{\bar{a}}_r$	Coût de licenciement	[3 000,4 500]
γ_p	Coût d'autorisation	[100 000, 125 000]
c_p	Pénalisation	∞
f_i	Coût d'ouverture	[10 000,15 000]
a_r	Salarie	[50 000,100 000]
F_i	Coût fixe d'ouverture	[500 000,750 000]

TABLE 3.7 – Valeurs de paramètres pour la génération des scénarios

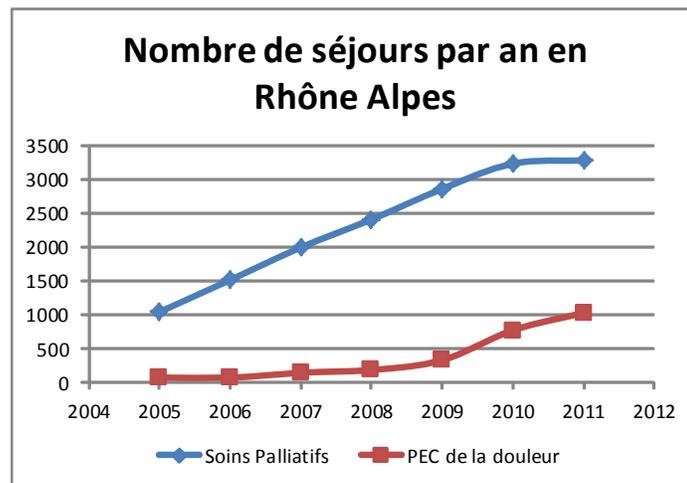


FIGURE 3.4 – Nombre de séjours de soins palliatifs et prise en charge de la douleur en Rhône Alpes entre 2005 et 2011

66 Chapitre 3. Localisation des structures de soins médicaux à domicile

expliqué dans la partie 3.4.4 où seront discutés les résultats.

3.4. Modèle multi-période pour la localisation de structures de SMA 67

	Scénario	Capacité non utilisée	Structures ouvertes	Traitements non-admis	Distance		Coût moyen	Facteur de stabilité
					moyenne	Maximale		
I	Scénario de référence	1,061%	14	255	4,433	8,565	64.289,321	2,58
II	Augmentation de la demande	1,025%	15	245	4,354	8,682	64.471,412	2,50
III	Diminution de la demande	1,618%	14	81	4,067	7,552	68.751,341	2,20
IV	Périodes d'autorisation $\alpha = 4$	1,059%	15	124	4,333	9,054	63.818,521	2,68
V	Coût de licenciement $\overline{a}_r \times 10$	1,415%	16	679	4,182	7,552	63.582,619	2,71
VI	Coût de licenciement $\overline{a}_r \times 100$	1,022%	15	152	4,202	7,552	63.582,056	2,88
VII	Coût de recrutement $\overline{a}_r \times 10$	1,482%	16	175	4,113	7,552	63.110,878	2,90
VIII	coût de recrutement $\overline{a}_r \times 100$	1,349%	15	10	4,298	9,195	62.838,016	2,75

TABLE 3.8 – Paramètres du plan d'expériences du modèle multi-période

3.4.4 Discussion

En général, la distance entre les patients et les structures est stable avec un écart-type de 0,1289 UD entre les résultats des scénarios. Cela signifie que la méthode de localisation des structures de soins à l'aide de ce modèle produit des solutions stables en termes de distance. Le premier scénario est choisi comme scénario de référence. Ici, la demande dans chacune des périodes de temps est générée en fonction de la distribution de probabilité présentée dans le Tableau 3.7. Dans la dernière colonne est présenté un facteur de stabilité des ressources humaines calculé grâce à la formule 3.48 et sert à identifier facilement les solutions avec des recrutements et licenciements fréquents. Si ce facteur de stabilité est égal à zéro, le scénario est dit "stable" en termes de ressources humaines.

$$\sum_{irt} (\overline{Q_{irt}} + \overline{Q_{irt}}) / (|T| \times |I| \times |R|) \quad (3.48)$$

En termes de la stabilité des ressources humaines on remarque plusieurs choses : (i) Cet indicateur est plus sensible à une variation dans les coûts d'embauche et de licenciements de ressources qu'à la variation de la demande. (ii) Il existe une relation entre la capacité non utilisée et le facteur de stabilité. Cette relation peut être vue dans le dernier scénario où les deux valeurs sont importantes par rapport au reste des scénarios. (iii) Le modèle produit des solutions qui sont relativement stables. Ceci veut dire que la quantité de ressources dans les structures ne change pas de manière drastique d'une période à l'autre.

D'autre part on remarque peu de différences entre les résultats de référence et le scénario II. La capacité non utilisée est très proche, le nombre de traitements non admis sont comparables ainsi que le facteur de stabilité de ressources et le coût moyen par traitement. Il y a une structure ouverte en plus qui produit un léger changement dans les indicateurs de distance.

Dans le scénario III où la demande diminue dans le temps, plusieurs résultats intéressants apparaissent. La capacité non-utilisée est plus grande que dans le scénario de référence, alors que le facteur de stabilité est le plus bas. L'indicateur de stabilité montre qu'il n'y a pas beaucoup de changements dans la quantité de ressources. Vu que la demande diminue à chaque période, la quantité de ressources est supérieure aux besoins, impliquant une capacité non utilisée. Enfin la distance moyenne entre les patients est la plus faible de tous les scénarios, ce qui signifie que les structures de soins sont réparties de façon équitable.

Les résultats du scénario IV présentent une capacité non utilisée relativement faible et très proche du scénario de référence. De même, le nombre moyen de traitements non affectés est d'environ la moitié de celui du scénario I. Il n'y a pas une

grande variation dans la distance moyenne entre les patients et les structures tandis que la distance maximale a augmenté. Finalement le facteur de stabilité des ressources est dans la moyenne des scénarios.

Les résultats des scénarios V et VI permettent d'observer la variation du coût du licenciement des ressources. Comme prévu, la capacité inutilisée diminue au fur et à mesure que le coût augmente. Le scénario VI a la plus petite capacité inutilisée. Les distances entre les patients et les structures sont stables, à la fois en terme de moyenne et de distance maximale. Le facteur de stabilité de ressource est plus grand dans le scénario VI que dans le V. Ceci paraît contradictoire mais une analyse approfondie des résultats indique que le nombre total de recrutements plus licenciements des scénarios V et VI sont 4.220 et 4.647 respectivement. Pourtant le coût de ces variations est plus grand dans le scénario V. Ceci veut dire que malgré le fait qu'il y a plus de variations quand le coût de licenciement augmente, ces variations sont moins coûteuses, au point qu'il n'y a pas une grande différence dans le coût moyen de traitement.

Enfin, la variation du coût de recrutement des ressources (scénarios VII et VIII) produit certains changements dans les solutions. D'abord, la capacité non utilisée augmente car il est plus coûteux d'embaucher des ressources. Le nombre de structures ouvertes diminue ainsi comme le nombre de traitements non-admis. La distance entre les patients et les structures est stable. Finalement, la stabilité des ressources du scénario VIII a une légère amélioration en relation avec le scénario VII.

3.5 Conclusions et perspectives

Le choix de l'emplacement d'une structure de SMAD dans un territoire a une impacte sur plusieurs aspect comme : le dimensionnement de ressources, l'affectation de la demande et les pathologies à accepter. Pour cette raison la pertinence économique d'une structure de SMAD est étroitement liée à sa localisation et met en exergue l'importance du développement de méthodes pour prendre cette décision.

Dans ce chapitre on a présenté deux modèles qui prennent en compte plusieurs contraintes importantes comme l'autorisation de pathologies, l'existence minimale de ressources, la variation de la demande dans le temps etc... Les résultats montrent de manière générale que les modèles proposés produisent des solutions qui son stables en termes de distance entre les patients et les structures et le dimensionnement des ressources.

En guise de perspective, nous montrons comment prendre en compte l'usage des libéraux. Deux types de ressources peuvent être utilisées pour répondre aux demandes : personnel de la structure de SMAD ou libéraux. Lorsqu'une demande est

70 Chapitre 3. Localisation des structures de soins médicaux à domicile

attribuée à une structure, celle-ci peut être traitée grâce à leurs ressources propres ou par des ressources libérales. Dans le premier cas, la ressource doit se déplacer au point de demande et encourir une charge de travail supplémentaire. Dans le second cas, la structure de SMAD paie un coût par unité de demande.

Pour prendre en compte les ressources libérales, le modèle suivant pourrait être considéré :

Indices

- P ensemble de pathologies indexé par p ,
- R ensemble de ressources indexé par r ,
- J ensemble de zones indexé par j ,
- I ensemble de localisations possibles pour les structures, indexé par i ,
- T ensemble de périodes de temps indexé par t .

Paramètres

- δ_{jpt} demande du type p de la zone j dans la période t ,
- d_{ij} distance entre la zone j et la localisation possible i ,
- q_r charge maximale d'une unité de ressource r ,
- \bar{q}_r charge maximale d'une unité de ressource libérale r ,
- ξ_r charge de travail de la ressource r induite par chaque unité de distance à parcourir entre sa localisation et les patients r ,
- τ_{pr} charge de travail de ressource r pour le soin d'un patient de pathologie p ,
- η_{pr} nombre minimal de ressource du type r pour l'autorisation de la pathologie p ,
- l_{jrt} nombre de ressources libérales r disponibles de la région j dans la période t ,
- α nombre de périodes de validité d'une autorisation.

coûts

- c_p coût de pénalisation quand une unité de demande du type p ne peut pas être servie,
- F_i coût fixe d'ouverture de la structure i ,
- f_i coût de fonctionnement par période de la structure i ,
- a_r coût par période d'une ressource r ,
- \bar{a}_r coût de recrutement d'une ressource r ,
- $\bar{\bar{a}}_r$ coût de licenciement de la ressource r ,
- γ_p coût de l'autorisation pour délivrer de soins du type p .
- g_r coût par unité de demande réalisée par une ressource libérale r ,

Variabes de décision

- $Y_{it} = 1$ si une structure est ouverte en i en période t , 0 sinon,
- $X_{jpit} = 1$ si la demande du type p de la zone j est servie par une structure localisé en i à la période de temps t , 0 sinon,
- $\overline{Q}_{irt}, \overline{\overline{Q}}_{irt}$ Quantité de recrutements, licenciements au début de la période t ,

- δ_{jpt}^r pourcentage du besoin en ressource r de la demande δ_{jpt} assurée par des ressources libérales,
- Z_{ipt} une variable binaire indiquant si une nouvelle autorisation est demandée en période t par la structure i pour la pathologie p ,
- W_{jrit}^p charge de travail restant aux ressources r dans la structure de SMAD i pour la demande δ_{jpt} . Cette variable est définie comme $W_{jrit}^p := (\delta_{jpt} - \delta_{jpt}^r) (\tau_{pr} + \xi_r d_{ij}) X_{jpit}$.
- n_{irt} nombre de ressources du type r disponibles dans la structure i dans la période t . Cette variable est définie par : $n_{irt} = n_{irt-1} + \overline{Q_{irt}} - \overline{\overline{Q_{irt}}}$.

Pour linéariser la définition de la variable W_{jrit}^p on peut utiliser deux méthodes :

$$W_{jrit}^p \geq (\delta_{jpt} - \delta_{jpt}^r) (\tau_{pr} + \xi_r d_{ij}) - M (1 - W_{jpit})$$

où M est un grand nombre. Sinon, on peut utiliser l'ensemble d'équations suivant :

$$W_{jrit}^p \geq (\delta_{jpt} - \delta_{jpt}^r) (\tau_{pr} + \xi_r d_{ij}) - M (1 - W_{jpit})$$

$$W_{jrit}^p \leq M X_{jpit}$$

$$W_{jrit}^p \leq (\delta_{jpt} - \delta_{jpt}^r)$$

$$W_{jrit}^p \leq (\delta_{jpt} - \delta_{jpt}^r) (\tau_{pr} + \xi_r d_{ij})$$

La structure de coûts de ce problème est la même que le problème précédent (3.4), si ce n'est que les coûts liés à l'utilisation de ressources libérales. Ce coût est exprimé dans la partie 3.52 de la fonction objectif. De cette façon le problème de localisation de structures de soins à domicile peut être écrit comme suit :

$$\min \sum_i F_i Y_{iT} + \sum_{i,t} f_i Y_{i,t} + \sum_{t,i,p} \gamma_p Z_{ipt} \quad (3.49)$$

$$+ \sum_{t,i,r} a_r n_{irt} + \sum_{i,r,t} (\overline{Q_{irt}} a_r + \overline{\overline{Q_{irt}}} a_r) \quad (3.50)$$

$$+ \sum_{t,p,j,i} \delta_{jpt} d_{ij} X_{jpit} + \sum_{t,p,j} c_p \delta_{jpt} (1 - \sum_i X_{jpit}) \quad (3.51)$$

$$+ \sum_{trpj} q_r \delta_{jpt}^r \quad (3.52)$$

sous contraintes :

$$Y_{it} \leq Y_{i,t+1} \quad \forall i, t \quad (3.53)$$

$$Z_{ipt} \leq Y_{it} \quad \forall i, p, t \quad (3.54)$$

$$\sum_{p,j} W_{jrit}^p \leq n_{irt} q_r \quad \forall i, r, t \quad (3.55)$$

$$n_{irt} = n_{irt-1} + \overline{Q_{irt}} - \overline{\overline{Q_{irt}}} \quad \forall i, r, t \quad (3.56)$$

$$\sum_i X_{jpit} \leq 1 \quad \forall j, p, t \quad (3.57)$$

$$\sum_j X_{jpit} \leq \sum_{t''=t-\alpha}^t Z_{ipt''} \quad \forall p, i, t \quad (3.58)$$

$$\eta_{pr} \sum_{t''=t-\alpha}^t Z_{ipt''} \leq n_{irt} \quad \forall p, i, t, r \quad (3.59)$$

$$W_{jrit}^p \geq (\delta_{jpt} - \delta_{jpt}^r) (\tau_{pr} + \xi_r d_{ij}) - M (1 - X_{jpit}) \quad \forall i, p, j, t, r \quad (3.60)$$

$$W_{jrit}^p \leq M X_{jpit} \quad \forall i, p, j, t, r \quad (3.61)$$

$$W_{jrit}^p \leq (\delta_{jpt} - \delta_{jpt}^r) (\tau_{pr} + \xi_r d_{ij}) \quad \forall i, p, j, t, r \quad (3.62)$$

$$\sum_p \delta_{jpt}^r \tau_{pr} \leq l_{jrt} \overline{q_r} \quad \forall j, t, r, i \quad (3.63)$$

$$Y_{it}, Z_{ipt}, X_{jpit} = \{0, 1\} \quad \forall i, t \quad (3.64)$$

$$n_{irt}, \overline{Q_{irt}}, \overline{\overline{Q_{irt}}}, \delta_{jpt}^r, W_{jrit}^p \in N^+ \quad \forall r, i \quad (3.65)$$

$$(3.66)$$

La contrainte 3.53 garantit qu'une structure de SMAD qui est ouverte ne peut pas être fermée. La contrainte 3.54 assure que l'autorisation ne peut être donnée que si la structure est ouverte. La contrainte 3.55 est la contrainte de capacité pour les ressources en interne. La contrainte 3.56 est la définition de la quantité d'unités de ressources en interne. La contrainte 3.57 assure que l'affectation de la demande d'une zone et une pathologie à un instant donné est à une seule structure. La contrainte 3.58 garantit l'affectation d'une demande d'une pathologie à une des structures qui a l'autorisation respective. La contrainte 3.59 garantit l'existence de la quantité minimale de ressources. Les contraintes 3.60, 3.61 et 3.62 sont les contraintes de linéarisation. La contrainte 3.63 est la contrainte de capacité pour les libéraux. Finalement les contraintes 3.64 et 3.65 définissent la nature des variables.

L'existence des ressources libérales dans un territoire est une donnée qui ne peut pas être négligée à l'heure de choisir l'emplacement des structures de SMAD. Ceci en raison de son impacte, pas seulement dans le dimensionnement des ressources mais aussi dans l'affectation des zones de demande et le choix des pathologies à accepter.

Pour cette raison les professionnels libéraux sont un acteur fondamental dans le

système de soins médicaux à domicile. La pertinence économique d'une structure de SMAD est liée à l'utilisation ou pas de ce type de ressource dans certain zones. Dans le chapitre suivant, nous développons une approche de modélisation pour choisir le type de ressources à utiliser pour servir la demande.

Choix des activités et la couverture épidémiologique et spatiale d'une structure de SMAD

4.1 Introduction et contexte

La prestation des services de santé à domicile peut être considérée comme le résultat de différentes activités de soins ou logistiques. Par exemple, la chimiothérapie à domicile implique un ensemble d'activités comme la fabrication de la poche, la distribution, la coordination des acteurs et la réalisation de la séance.

Le système de santé actuel connaît un certain nombre de changements importants qui influent sur la viabilité économique des structures de soins médicaux à domicile. Un exemple est le changement du financement des structures hospitalières, passant d'un budget global à la tarification à l'activité (T2A). Dans ce contexte, une structure de soins à domicile doit adapter son offre d'activités et leur organisation de manière à ne pas dégrader la qualité de soins tout en assurant sa viabilité économique.

Comme nous avons remarqué dans la section 3.5, il existe deux types de ressources permettant de réaliser différentes activités. D'une part, les ressources recrutées par la structure génèrent des coûts salariaux indépendants des volumes d'activités. D'autre part, les ressources libérales sur lesquelles la structure a peu de contrôle ; dans ce cas, le paiement est effectué sur la base du volume d'activités. Le fait que la structure a peu de contrôle sur les libéraux montre l'importance de définir dans quel contexte (quelles zones et quelles activités) seront utilisées ces ressources afin d'assurer la viabilité économique des établissements de SMAD.

L'existence des ressources libérales est la principale raison pour laquelle l'activité de coordination est fondamentale. Lorsqu'on fait appel à des ressources libérales pour une séance, la structure a peu de contrôle sur son exécution : le temps de passage au domicile du patient, les résultats des soins, l'information donnée au patient, etc. Avoir une relation étroite entre les trois acteurs patient-libéral-structure est très

important pour une bonne exécution de l'activité. Notons qu'il existe un type de structure, le réseau de soins à domicile, dont l'activité est dédiée quasi exclusivement à la coordination. Ce type de structure est généralement formé d'une unité de coordination et obtient des financements sous la forme d'un budget global dédié à la coordination.

Dans ce chapitre, nous proposons un modèle d'aide à la décision concernant une structure de soins médicaux à domicile permettant de choisir les activités à assurer en interne ou à externe par des libéraux, de déterminer la couverture spatiale assurée par la structure, de déterminer la couverture épidémiologique pour choisir les pathologies à prendre en charge, et enfin de dimensionner les ressources nécessaires en interne. Répondre à ces questions est important et permet de donner des informations pour établir des accords à long terme avec des acteurs clés (infirmiers libéraux, pharmaciens de ville, médecins généralistes, etc.) et planifier son développement.

4.2 Activités fondamentales

Dans ce chapitre, nous modélisons la prise en charge d'un patient à domicile par un ensemble des activités fondamentales. Pour répondre à la demande de soins, les institutions doivent assurer la bonne exécution des différentes activités nécessaires. La prise en charge d'un patient à domicile se décline en général en cinq processus fondamentaux :

1. La coordination des activités.
2. La distribution des médicaments et du matériel.
3. La consultation avec un spécialiste.
4. Le soin (activités médicales).
5. La collecte des déchets.

Réaliser chacune des activités fondamentales représente un coût pour la structure. Ce coût dépend de la façon dont l'activité est effectuée, à savoir en interne ou en externe. Effectuer une activité en interne implique un coût fixe pour sa mise en place et un coût variable en fonction de la demande ou de la distance du patient. Par exemple si la structure recrute un médecin pour réaliser des astreintes, son salaire devra être payé et sera interprété comme un coût fixe. Si ce médecin doit se déplacer la structure doit payer un coût de déplacement qui est proportionnel à la distance (coût variable). Inversement, réaliser l'activité en externe génère seulement le coût variable qui dépend de la demande. Par exemple si l'astreinte est assuré par un médecin de ville, le coût généré dépend de quantité de patients.

Les différentes activités fondamentales peuvent être définies comme suit :

1. **Coordination des activités** : Cette activité ne peut être réalisée qu'en interne.
2. **Distribution des médicaments et du matériel** : Pour cette activité, la structure de SMAD a deux options : (i) réaliser cette activité à l'extérieure en faisant appel au réseau de pharmacies de ville ou à des entreprises prestataires (comme est fait par plusieurs HAD dans la région Rhône-Alpes) et engager des frais pour chaque expédition, (ii) réaliser l'activité en interne. Dans ce cas la structure doit avoir une PUI et un centre de stockage de matériel qui signifie un coût fixe. Un coût variable et aussi induit pour la livraison en fonction de la distance et la demande.
3. **Consultation avec un spécialiste** : La structure a aussi deux alternatives pour cette activité : (i) réaliser l'activité en externe (consultation avec un spécialiste de l'hôpital par exemple) et (ii) réaliser l'activité en interne par un spécialiste de la structure. Cela signifie encourir un coût fixe pour le salaire du spécialiste mais sans coût variable. En France une consultation de spécialiste est payée directement par la sécurité sociale et n'intervient pas dans les finances de la structure de SMAD. Dans ce chapitre nous considérons cette consultation comme l'astreinte médical.
4. **Soins médicaux** : Réaliser les soins médicaux en externe consiste à faire appel à un professionnel libéral alors que sa réalisation en interne génère le salaire (coût fixe) et le déplacement du personnel (coût variable).
5. **Collecte des déchets** : Cette activité est similaire à la distribution de médicaments.

Deux types de remboursements sont examinés dans ce chapitre : paiement par patient pris en charge, appelé *remboursement par traitement*, ou paiement par activité fondamentale, appelé *le remboursement par processus*. Le deuxième type est inspiré par la tarification à l'activité. Un certain montant est versé à la structure pour chacune des activités exécutées.

4.3 Modélisation mathématique

Le problème étudié concerne une seule structure de soins médicaux à domicile (SMAD) pour un territoire donné regroupé en zones et un ensemble des pathologies pouvant être prise en charge à domicile. Il s'agit de déterminer les ressources humaines de chaque type à recruter en SMAD, les habilitations de délivrance à demander par SMAD, les pathologies à assurer pour chaque zone, et pour chaque zone les activités fondamentales à réaliser en interne et en externe par les libéraux.

Nous considérons deux problèmes : (A) Maximisation du bénéfice¹ et (B) Maxi-

1. Étant donnée la modélisation proposée, le remboursement par activité et par traitement produisent les mêmes solutions. Il est possible qu'en considérant une version stochastique du problème (i.e. besoins en ressources aléatoires) le type de remboursement affecte la qualité des solutions.

misation de la couverture en ayant un budget fixe.

Les hypothèses suivantes sont posées. Les demandes de chaque zone pour chaque pathologie sont supposées connues. Chaque patient est caractérisé par une pathologie (type de demande). Répondre à sa demande implique un ensemble donné d'activités fondamentales et on connaît le besoin en ressources pour chaque activité et pour chaque type de ressource. Certaines pathologies nécessitent une habilitation pour la prise en charge à domicile. Une structure peut refuser une demande. Quand elle est acceptée, la structure s'engage à ce que toutes les activités concernant cette demande soient réalisées soit en interne soit à l'externe. Certaines activités comme la coordination sont toujours réalisées en interne. Les ressources libérales sont supposées toujours disponibles. Plus précisément :

Demande : Chaque zone j a une demande δ_{jp} pour la pathologie p . Si la demande d'une pathologie d'une zone est acceptée, toutes les activités fondamentales doivent être réalisées et chaque activité fondamentale est soit réalisée en interne ou en externe par des libéraux. Cependant la coordination de cette demande est toujours réalisée en interne. L'habilitation de prise en charge d'une pathologie p implique une quantité minimale η_{pr} de chaque ressource r à recruter.

Besoin en ressources : Chaque activité i d'une pathologie p génère une charge de travail τ_{rpi} pour les ressources r . Cette charge est complétée d'éventuelle charge liée aux déplacements du personnel. Chaque ressource r a une capacité (charge maximale) de q_r et un salaire de a_r .

Distance : La distance entre la structure est un patient est la distance à la zone d_j plus une distance intra-zone $d_j \theta_j$, soit $d_j(1 + \theta_j)$.

Ensembles

- P Ensemble de pathologies indexé par p .
- R Ensemble de ressources indexé par r .
- J Ensemble de zones indexé par j .
- I Ensemble d'activités fondamentales indexé par i . Les activités générant un coût qui dépend de la distance conformément l'ensemble I_0 . Les activités générant un coût qui dépend de la demande conformément l'ensemble I_1 . Une activité peut générer un coût qui dépend à la fois de la demande et aussi de la distance.

Paramètres

- δ_{jp} Demande de la pathologie p de la zone j .
- q_r Capacité maximale d'une ressource r ,
- τ_{rpi} Charge de travail de ressource r pour les activités i de la prise en charge d'un patient de la pathologie p ,
- η_{pr} Nombre minimal de ressources r pour avoir l'autorisation de servir la pathologie p ,
- l_{jr} Nombre de ressources libérales du type r de la zone j ,

- d_j Distance entre la zone j et la structure de soins,
- θ_j Facteur de distance intra-zone de la zone j ,
- ξ_r Charge de travail de la ressource r produite par chaque unité de distance à parcourir entre la structure et les patients.

Coûts

- a_r Coût de salaire d'un ressource du type r ,
- γ_p Coût fixe d'autorisation pour la pathologie p ,
- c_{ip} Coût de réaliser l'activité i d'un patient p en externe dépendant de la demande,
- b_{ip} Coût variable de l'activité i de la pathologie p réalisée en interne. Deux types d'activités I_0 et I_1 sont considérés. Une activité (i, p) dans l'ensemble I_1 ne nécessite pas de déplacement et génère un coût variable de b_{ip} . Une activité (i, p) dans l'ensemble I_0 nécessite de déplacement et génère un coût variable de $b_{ip}d_j(1 + \theta_j)$ proportionnel à la distance.
- B_{ip} Coût fixe de réaliser l'activité i de la pathologie p en interne,
- f_{ip} Taux de remboursement d'une activité i de la pathologie p ,
- F_p Taux de remboursement d'un traitement complet d'une pathologie p ,
- W Budget total disponible.
- 1 Coût d'affectation par unité de demande par unité de distance. Sans perte de généralité, nous avons défini le coût d'affectation comme le coût de déplacement. Ce dernier est supposé proportionnel à la distance d_j et la demande δ_{jp} avec un coût unitaire normalisé à 1.

Variables de Décisions :

- X_{jpi} Variable binaire égale à 1 si l'activité i de la pathologie p de la zone j est réalisée en interne par la structure,
- Z_p Variable binaire égale à 1 si l'autorisation pour délivrer des services de la pathologie p est demandée,
- n_r Nombre de ressources du type r à recruter,
- Y_{jpi} Variable binaire égale à 1 si l'activité (i, p) de la zone j est réalisée en externe
- U_{ip} Variable binaire égale à 1 si l'activité (i, p) est réalisée en interne pour au moins une zone.

Comme l'acceptation de servir une pathologie p d'une zone implique la réalisation de l'ensemble de ses activités et la coordination est seulement réalisée en interne, la variable X_{jp0} aussi indique l'acceptation ou non de la demande de la pathologie p de la zone j .

4.3.1 Modèles avec remboursement par processus

La fonction objectif consistant à maximiser le bénéfice (modèle A) peut être définie comme suit :

$$\begin{aligned} & \max \sum_{jpi} f_{ip} \delta_{jp} (X_{jpi} + Y_{jpi}) - \sum_{jpi} c_{ip} \delta_{jp} Y_{jpi} - \sum_{ip} B_{ip} U_{ip} \\ & - \sum_{jpi|i \in I_1} b_{ip} \delta_{jp} X_{jpi} - \sum_{jpi|i \in I_0} b_{ip} \delta_{jp} d_j (1 + \theta_j) X_{jpi} - \sum_r a_r n_r - \sum_p \gamma_p Z_p \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\sum_{jpi} \delta_{jp} (\tau_{rpi} + \xi_r d_j (1 + \theta_j)) X_{jpi} \leq q_r n_r \quad \forall r \in R \quad (4.2)$$

$$\sum_{ip} \delta_{jp} \tau_{rpi} Y_{jpi} \leq q_r l_{jr} \quad \forall j, r \quad (4.3)$$

$$X_{jp0} \leq Z_p, Y_{jp0} = 0 \quad \forall j, p \quad (4.4)$$

$$X_{jpi} + Y_{jpi} = X_{jp0} \quad \forall j, p, i \quad (4.5)$$

$$\eta_{pr} Z_p \leq n_r \quad \forall r, p \quad (4.6)$$

$$X_{jpi} \leq U_{ip} \quad \forall j, p, i \quad (4.7)$$

$$X_{jpi}, Y_{jpi}, Z_p, U_{ip} \in \{0, 1\} \quad (4.8)$$

$$n_r \in \mathbb{N} \quad (4.9)$$

La fonction objectif 4.1 est composée de plusieurs éléments : (i) le montant total du financement qui dépend des activités réalisées, (ii) le coût total des activités réalisées en externe, (iii) le coût fixe généré pour les activité en interne, (iv) le coût interne qui dépend de la demande, (v) le coût interne qui dépend de la distance, (vi) le coût de salaires et (vii) le coût total des autorisations. La contrainte 4.2 définit la capacité pour les ressources en interne, la contrainte 4.3 est la contrainte de capacité des ressource libérales. La contrainte 4.4 défini l'activité de coordination. L'activité d'une coordination d'une pathologie peut ne peut être réalisé qu'en interne et si la structure a l'autorisation pour cette pathologie. La contrainte 4.5 assure que toutes les activités d'une demande acceptée soient réalisées. La contrainte 4.6 définit l'existence de la quantité minimale de ressources. La contrainte 4.7 définit la variable U_{ip} . Finalement les contraintes 4.8 et 4.9 définissent la nature des variables.

Si l'objectif consiste à maximiser la couverture (modèle B), certaines modifications doivent être intégrées. La fonction objectif sera définie comme suit :

$$\max \sum_{jpi} X_{jp0} \quad (4.10)$$

De plus, il faut que les coûts définis par l'équation 4.1 soient intégrés sous forme de contrainte. Cette contrainte peut être écrite comme l'expression 4.11 où W est le budget.

$$\begin{aligned}
& \sum_{jpi} c_{ip} \delta_{jp} Y_{jpi} + \sum_{ip} B_{ip} U_{ip} + \sum_{jpi|i \in I_1} b_{ip} \delta_{jp} X_{jpi} \\
& + \sum_{jpi|i \in I_0} b_{ip} \delta_{jp} d_j (1 + \theta_j) X_{jpi} + \sum_r a_r n_r + \sum_p \gamma_p Z_p \leq W \quad (4.11)
\end{aligned}$$

4.3.2 Modèles avec remboursement par traitement

Comme cela a été dit auparavant, le système de santé subit d'importants changements, comme le vieillissement de la population ou l'augmentation de la demande. Pour faire face aux ces nouveaux défis, les autorités on décidé d'adapter ses politiques des financement. On passe donc d'un financement des structures hospitalières sous forme de budget global à un financement en grande partie calculé selon l'activité mesurée par séjour. Pour modéliser ce type de remboursement, la fonction objectif suivante peut être considérée :

$$\begin{aligned}
\min & \sum_{pj} F_p \delta_{jp} X_{jp0} - \sum_{jpi} c_{ip} \delta_{jp} Y_{jpi} - \sum_{ip} B_{ip} U_{ip} - \sum_{jpi|i \in I_1} b_{ip} \delta_{jp} X_{jpi} \\
& - \sum_{jpi|i \in I_0} b_{ip} \delta_{jp} d_j (1 + \theta_j) X_{jpi} - \sum_r a_r n_r - \sum_p \gamma_p Z_p \quad (4.12)
\end{aligned}$$

Dans l'état actuel de notre recherche les deux fonction objectifs 4.1 et 4.12 produisent les mêmes résultats. Il est cependant envisageable d'introduire dans le futur des éléments stochastiques. Notamment, la prise en charge des incertitudes dans les besoins en ressource est une problématique à la fois scientifiquement intéressante et applicable dans la réalité. Dans cette perspective, la fonction objectif 4.12 permet que les changements dans les charges produites par l'incertitude soient prise en compte par les libéraux et non pas par les ressource en interne.

4.3.3 Expérimentation et résultats

Les expériences on été réalisés sur deux types de territoires différents, urbain et rural. Les distance inter et intra zones ont été générées aléatoirement selon les lois présentées dans la Table 4.1. Ces valeurs sont arbitraires mais l'approche reste valide pour d'autre valeurs.

Tout d'abord un scénario de référence a été crée et sera utilisé pour comparer les changements du plan d'expérience. De la même manière que dans le chapitre 3, ces expériences sont basés le changement de la structure de coûts et un certain nombre d'indicateurs de performance a été conçu pour relever les effets qui se produisent. Les valeurs des paramètres du scénario de référence ainsi que les indicateurs de performance sont indiqués dans le Tableau 4.2.

	Distance inter-zones	Distance intra-zone
Territoire urbain	UNIF[0,33;1]	UNIF[0,75;2]
Territoire rural	UNIF[0.08;0,17]	UNIF[0.17;0.33]

TABLE 4.1 – Génération des distances

Paramètre	Valeurs des paramètres	
	<i>Nom du paramètre</i>	<i>Valeurs de la distribution</i>
q_r	Capacité	voir Tableau C.8
τ_{pri}	Besoins en ressource	voir Tableau C.7
η_{pr}	Nombre minimal de ressources pour autorisation	voir Tableau C.8
l_{jr}	Nombre ressources libérales	UNIF[0;10]
I_1	Ensemble d'activités dont le coût dépend de la demande	$[I_1, I_2, I_4]$
I_0	Ensemble d'activités dont le coût dépend de la distance	$[I_0, I_1, I_2, I_3]$
γ_p	Coût fixe d'autorisation	[10 000 ; 11 500]
f_{ip}	Financement des activités et ressources	UNIF[0,400]
Coûts		
a_r	Salarie	voir Tableau C.8
b_{ip}	C. variable interne	voir Tableau C.9

TABLE 4.2 – Valeurs de paramètres pour le scénario de référence.

La première série d'expériences a pour objectif de mesurer l'impact d'un changement dans les coûts des activités réalisées en externe. Après on analyse les effets produits par le changement dans les coûts de salaires des ressources. Ensuite les effets produits par un changement dans les coûts fixes d'autorisation et des activités en interne. Enfin, les effets des changements dans le montant du financement sont présentés.

Effet produit par un changement dans le coût des activités réalisées en externe c_{ip}

Cette expérience a comme objectif de mesurer l'impact des changements du coût lié à la réalisation des activités en externe. Dans cette expérience la valeur du paramètre c_{ip} change en fonction du coût de réalisation des activités en interne (b_{ip}). Ce choix se justifie par le fait que ce coût peut se trouver facilement dans la réalité par rapport aux autres coûts, comme par exemple dans l'enquête nationale de coûts de l'HAD réalisée par l'ATIH. Des valeurs inspirés des cette enquête ont été utilisés.

Le tableau 4.3 présente les impacts sur l'affectation de la demande. De façon générale les libéraux sont utilisés pour couvrir une proportion importante de la demande et ceci pour toutes les activités sauf la coordination. Il existe trois intervalles à étudier. Le premier un intervalle des valeurs pour c_{ip} dans lequel les solutions changent peu par rapport au scénario de référence. Dans ce cas cet intervalle est $[0 \times b_{ip} - 2.2 \times b_{ip}]$. Le deuxième est un intervalle à l'intérieur duquel il existe un basculement de l'activité : on commence à refuser de demandes. Dans ce cas le deuxième intervalle est $[2.2 \times b_{ip} - 2.3 \times b_{ip}]$. Finalement un troisième intervalle $[2.3 \times b_{ip} - 2.5 \times b_{ip}]$ dans lequel la demande diminue jusqu'au point où il n'est plus intéressant d'obtenir l'autorisation pour une pathologie comme dans le cas où $c_{ip} = 2.5 \times b_{ip}$.

Au fur et à mesure que le coût de c_{ip} augmente, la demande non affectée augmente. Ceci a un impact sur la quantité de ressources à l'intérieur de la structure : au final il est moins coûteux de refuser une demande que de la servir avec les ressources internes. Ce comportement s'explique par le fait que dans notre modèle nous n'avons pas considéré un coût de pénalisation pour ces demandes perdues ni une contrainte qui oblige à couvrir un certain pourcentage de la demande, voire la totalité. Si cela était le cas, la quantité de ressources en interne augmenterait en même temps que le coût c_{ip} .

Pour le territoire urbain, nous pouvons observer plusieurs choses. D'abord, la solution est plus sensible aux changement de ce paramètre : les intervalles sont plus petits. Le premier intervalle est quand c_{ip} prend valeurs entre 0 et $1.5335 \times b_{ip}$. Les deuxième approximativement entre 1.5335 et 1.5337. Et le dernier en plus des valeurs plus grands que $1.8 \times b_{ip}$. Ensuite on voit que les ressource en interne peuvent prendre en charge beaucoup plus d'activités que dans le territoire rural.

Paramètre	Valeur	Capacité non utilisée	Demande		Demande interne					Demande interne				
			total	non affectée	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4
Référence ($c_{ip} = 0$)		12.51%	548	13	535	0	12	12	17	0	535	523	518	
c_{ip}	$2.2 \times b_{ip}$	12.53%	548	13	535	0	12	12	20	0	535	523	515	
	$2.3 \times b_{ip}$	13.75 %	548	143	405	0	0	25	0	0	405	405	405	
	$2.4 \times b_{ip}$	13.75 %	548	158	390	0	0	50	0	0	390	390	390	
	$2.5 \times b_{ip}$	27.57 %	548	354	195	7	0	0	0	0	188	195	195	
Territoire Urbain														
Référence ($c_{ip} = 0$)		13.13%	548	48	500	25	32	32	65	0	475	468	435	
c_{ip}	$1.5335 \times b_{ip}$	16.57%	548	48	500	25	32	50	37	0	475	468	463	
	$1.5337 \times b_{ip}$	23.24%	548	301	247	0	7	25	65	0	248	240	183	
	$1.8 \times b_{ip}$	23.14%	548	301	247	17	25	57	7.5	0	230	223	190	

TABLE 4.3 – Impact dans l'affectation de la demande dû aux changements de coût des activités réalisées en externe.

Paramètre	Valeur	Ressources internes					Ressources externes				
Territoire rural		R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4
Référence ($c_{ip} = 0$)		1	3	3	3	3	5.18	2.38	1.72	1.47	1.22
c_{ip}	$2.2 \times b_{ip}$	1	3	3	3	3	5.17	2.38	1.72	1.46	1.21
c_{ip}	$2.3 \times b_{ip}$	1	2	2	2	2	4.30	1.98	1.40	1.23	0.96
	$2.4 \times b_{ip}$	1	2	2	2	2	4.18	1.89	1.34	1.19	0.91
	$2.5 \times b_{ip}$	1	1	1	1	1	2.42	1.20	0.78	0.69	0.51
Territoire Urbain											
Référence ($c_{ip} = 0$)		1	2	2	2	2	4.60	2.14	1.51	1.26	1.05
c_{ip}	$1.5335 \times b_{ip}$	1	2	2	2	2	4.64	2.11	1.53	1.32	1.07
	$1.5337 \times b_{ip}$	1	1	1	1	1	1.73	0.71	0.55	0.43	0.44
	$1.8 \times b_{ip}$	1	1	1	1	1	1.69	0.63	0.60	0.50	0.44

TABLE 4.4 – Impact dans le choix des ressources dû aux changements du coût des activités réalisés en externe

Le tableau 4.4 présente les impacts sur le choix des ressources. On peut voir que ces résultats sont stables à l'intérieur des même intervalles.

Effet produit par un changement dans le coût des activités réalisées en externe a_r

Cette expérience a pour objectif de mesurer l'impact d'un changement dans le coût des salaires. Les deux territoires, rural et urbain, de la partie précédente sont utilisés. Pour cette expérience on fixe la valeur de c_{ip} . Les valeurs de ce paramètre sont présentées dans le Tableau C.10.

Le Tableau 4.5 présente les résultats en termes d'affectation de la demande. Une diminution dans le coût des salaires génère une capacité non utilisée en moyenne plus petite indiquant que les ressources sont plus utilisées. Comme prévu il existe une diminution de la demande non affectée et un basculement entre la quantité de demande servie en externe qui diminue et servie en interne, qui augmente.

On peut voir aussi dans le Tableau 4.5 que les résultats sont plus sensibles à ce paramètre dans le territoire de type rural. Dans le territoire urbain, diviser le coût de salaire par deux ne change pas la quantité de demande affectée mais seulement le choix de la réaliser en interne ou externe.

Le Tableau 4.6 présente les résultats en terme du choix des ressources. Dans les deux territoires, la diminution de ce coût engendre une augmentation du nombre de ressources. Cette augmentation paraît plus faible dans le territoire urbain, mais

il faut tenir compte d'un temps de déplacement plus court, donc une charge des ressources plus faible.

Paramètre	Valeur	Capacité		Demande		Demande interne				Demande interne				
		non utilisée	total	non affectée	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4
Territoire rural														
<i>Référence (voir tableau C.8)</i>		13.32%	548	128	420	0	0	0	0	0	420	420	420	420
a_r	$0.5 \times a_r$	9.69%	548	41	507	0	0	0	190	0	508	508	318	508
	$0.2 \times a_r$	6.44%	548	6	542	157	20	262	62	0	385	523	280	480
	$0.1 \times a_r$	4.19%	548	0	548	223	53	318	448	0	325	495	230	100
Territoire urbain														
<i>Référence (voir tableau C.8)</i>		28.76 %	548	300	247	25	7	120	7	0	223	240	128	240
a_r	$0.5 \times a_r$	18.03 %	548	300	247	110	57	247	25	0	138	190	0	223
	$0.2 \times a_r$	7.39 %	548	163	385	342	50	385	135	0	43	335	0	250
	$0.1 \times a_r$	3.93 %	548	48	500	500	155	500	492	0	0	345	0	8

TABLE 4.5 – Impact du changement du coût des salaires sur l'affectation de la demande

Paramètre	Valeur	Ressources internes					Ressources externes				
Territoire rural		R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4
<i>Référence (voir tableau C.8)</i>		1	2	2	2	2	4.4	2.1	1.5	1.26	1.0
a_r	$0.5 \times a_r$	1	3	3	3	4	4.9	1.9	1.6	1.4	1.1
	$0.2 \times a_r$	2	4	4	5	5	4.7	1.9	1.5	1.4	1.0
	$0.1 \times a_r$	3	6	6	8	8	3.9	1.7	0.9	0.7	0.5
Territoire urbain											
Référence		1	1	1	1	2	1.8	0.6	0.6	0.5	0.4
a_r	$0.5 \times a_r$	1	2	2	2	2	1.5	0.3	0.4	0.5	0.2
	$0.2 \times a_r$	2	3	3	3	4	2.4	0.7	0.6	0.7	0.3
	$0.1 \times a_r$	4	5	5	6	7	2.2	0.8	0.4	0.3	0.0

TABLE 4.6 – Impact du coût des activités réalisées en externe sur le choix des ressources

Effets produits par un changement dans les paramètres γ_p (coût fixe d'autorisation) et B_{ip} (coût fixe lié à la réalisation de l'activité en interne)

Ce groupe d'expériences a comme objectif de mesurer l'impact du changement induit par les paramètres γ_p et B_{ip} . Cependant, les résultats ne sont pas sensibles à ces changements. Nous avons réalisé de nombreux tests et obtenons exactement les mêmes résultats en quantité de demande affectée ainsi que dans le choix des ressources. Ce comportement s'explique par le fait que ces coûts fixe sont petits par rapport aux coûts d'affectation ou aux coûts des ressources. Notons que les résultats pourraient être sensibles dans une version du modèle qui prend en compte la variation des paramètres dans le temps.

Effets produits par un changement du montant du financement W dans le modèle B

Nous avons décidé de prendre comme référence un scénario dans lequel la demande est répartie entre ressources internes et externes. Pour cette raison nous avons fixé le paramètre $a_r = 0,2 \times a_r$. Les résultats numériques sont présentés pour le territoire rural. Ceux du territoire urbain sont similaires.

Le tableau 4.7 présente les résultats de cette expérience. On remarque trois intervalles de valeurs pour lesquels les résultats présentent les mêmes caractéristiques. D'abord quand $W \leq 450K$ où le financement n'est pas suffisant pour servir la demande. Le deuxième intervalle est quand $450K \leq W \leq 460K$ autour d'une valeur pour laquelle la totalité de la demande est servie. Finalement un troisième intervalle $500K \leq W$ pour lequel toute la demande est servie et le financement n'a plus aucun

effet sur la solution.

Il est intéressant de comparer les scénarios où $W = 460K$ et $W = 500K$: malgré le fait que la demande est servie totalement une augmentation du financement produit un léger changement dans la solution. La capacité non utilisée augmente, indiquant qu'on desserve la demande avec les ressources en interne.

Enfin, le coût par traitement augmente de façon concomitante avec le financement W . Ceci s'explique par le fait que le financement permet de prendre en charge des demandes qui sont de plus en plus chères. On peut voir que le coût par traitement ne change pas quand $W \geq 500K$.

Valeur	Capacité non utilisée	Demande		Coût	
		total	non affectée	total	traitement
$W = 300K$	15.0%	548	170	298560	790.88
$W = 400K$	6.85 %	548	55	399366	810.07
$W = 450K$	9.96 %	548	3	449232	824.28
$W = 460K$	10.83 %	548	0	458539	836.75
$W = 500K$	36.97 %	548	0	480469	876.77
$W = 700K$	36.97 %	548	0	480469	876.77

TABLE 4.7 – Impact du coût des activités réalisés en externe sur le choix des ressources

4.3.4 Conclusions et perspectives

Dans ce chapitre deux modèles différents ont été développés pour étudier le problème de choix des activités, de la couverture épidémiologique et spatiale.

Soulignons tout d'abord l'importance de l'utilisation des ressources libérales. Souvent proches des patients, elles évitent le déplacement du personnel médical des structures de SMAD, qui peut se révéler coûteux.

Concernant les résultats du plan d'expérience, nous pouvons conclure qu'il est possible de calculer trois intervalles pour lesquels la valeur du paramètre c_{ip} (coût de réaliser une activité en externe) affecte la solution de manière différente. D'abord la solution est peut sensible. Ensuite il y a un basculement où on commence à diminuer l'utilisation des libéraux et enfin un intervalle dans lequel il est moins coûteux de refuser le demandes plutôt que les accepter.

D'autre part, l'utilisation des libéraux diminue de façon concomitante avec le

coût des salaires. Les résultats sont plus sensibles dans le cas d'un territoire rural. Concernant l'impact du financement on remarque l'existence de trois intervalles. Dans le premier, la demande ne peut être servie complètement. Dans le deuxième, la demande est servie complètement. Enfin dans le troisième, le changement du montant du financement n'a plus aucun impact sur la solution.

Pour continuer à développer cette problématique, trois pistes possibles peuvent être suivies. Tout d'abord, une recherche peut être effectuée pour améliorer les paramètres et les données d'entrée pour des exemples plus conformes à la réalité. Deuxièmement, ces modèles peuvent être intégrés à une plate-forme de cartographie pour déterminer, par exemple, quels sont les zones géographiques où le manque possible de libéraux risque de compromettre la viabilité économique des structures. Enfin, il est possible de concevoir une version multi-périodes en intégrant des informations sur l'évolution des libéraux dans certains zones.

Dimensionnement des ressources humaines d'une structure de SMAD avec demandes incertaines

5.1 Introduction et Contexte

L'un des problèmes les plus difficiles de la gestion d'une structure de soins à domicile est la gestion des incertitudes. La prise en compte des incertitudes est importante dans pratiquement toutes les décisions allant des stratégies aux plus opérationnelles. Le dimensionnement des ressources d'une structure de SMAD doit permettre de disposer de suffisamment de ressources pour faire face aux fluctuations des demandes. La capacité d'une structure de SMAD à anticiper les incertitudes et de réagir aux événements imprévus est également très importante dans l'organisation de la distribution des médicaments et la production de ceux-ci. Une mauvaise gestion des incertitudes oblige les structures de SMAD à opter pour des solutions coûteuses telles que les heures supplémentaires, ou au contraire à une sous-utilisation des ressources. Cela conduit aussi à une mauvaise qualité de service à cause des reports ou annulations des activités de soins.

Dans ce chapitre, nous étudions le problème de dimensionnement des ressources humaines d'une seule structure de SMAD en tenant compte des incertitudes pour les demandes. Trois types d'information sont essentielles en raison de leur impact sur le besoin en ressource de la structure de SMAD : (i) le volume de la demande, (ii) le type de demande ou le type de soin et (iii) l'origine géographique de la demande. La pertinence du premier type d'information est évidente. Il est aussi clair que les charges de travail pour chaque type de ressource peuvent varier fortement selon les types de soins. Comme on le voit dans le Chapitre 3, des variations dans les zones géographiques de demande peuvent générer un changement important dans les besoins en ressources, car l'activité dépend fortement du déplacement des ressources humaines pour servir les patients à leur domicile.

Nous ne considérons pas dans ce chapitre les ressources libérales, et l'objectif est de déterminer les différentes ressources humaines nécessaires afin d'atteindre un cer-

tain niveau de service. Nous plaçons cette étude sur un horizon de temps assez court pour considérer que la quantité de ressources humaines reste constante. Le niveau de service considéré dans ce chapitre est le pourcentage des jours où la structure de SMAD est capable de servir ses demandes avec uniquement ses propres ressources et sans heures supplémentaires. Par exemple, un niveau de service de 80%, signifie que dans 80% des jours, la structure de SMAD peut répondre pleinement à la demande en respectant les durées de travail réglementaires en tenant compte des incertitudes sur les volumes, des types de soins et des zones d'apparition des pathologies.

Le problème de décision est présenté dans la Section 5.2. Ensuite, dans la Section 5.3 la méthode de résolution est détaillée ainsi que les modèles utilisés. Dans la Section 5.4, les différentes expériences sont présentées et finalement les résultats et conclusions sont donnés dans la Section 5.5.

5.2 Présentation du problème

Nous considérons une structure de SMAD avec un ensemble R de ressources pour servir les demandes pour un ensemble S de soins d'un ensemble Z de zones. La demande journalière d_{sz} , i.e. nombre de soins s de la zone z , est un nombre aléatoire. La matrice de demandes est notée $\mathbf{d} = [d_{sz}]$. Chaque soin s nécessite un temps δ_{sr} de service pour chaque ressource r , avec $\delta_{sr} = 0$ si la ressource r n'est pas nécessaire. Chaque unité de ressource r utilisée génère un coût C_r qui correspond au salaire.

Le problème consiste à déterminer le nombre n_r pour chaque ressource r de manière à minimiser la somme des coûts liés à l'utilisation des ces ressources, i.e. $\sum_r C_r n_r$, tout en assurant un niveau de service supérieur ou égal à α ($0 \leq \alpha \leq 1$).

Le niveau de service est la probabilité qu'il existe une solution admissible pour couvrir toutes les demandes. L'existence d'une solution admissible pour un jour donné est vérifiée de la manière suivante.

Au début de chaque jour, les demandes d_{sz} sont connues. Quand une ressource r est nécessaire pour un soin s , la demande d_{sz} du soin s de chaque zone z est répartie entre les différentes unités de la ressource r , avec $q_{szrk}(\mathbf{d})$ soins s de la zone z pris en charge par l'unité k de la ressource r . La charge de travail (hors déplacements) liée aux soins affectés à la ressource (r, k) est donc $\sum_{sz} \delta_{sr} q_{szrk}(\mathbf{d})$.

Certains soins nécessitent le déplacement de certaines ressources avec $\mu_{sr} = 1$ si le soin s nécessite le déplacement de la ressource r , et $\mu_{sr} = 0$ sinon. Une tournée partant de la structure de SMAD doit être organisée pour chaque ressource (r, k) pour visiter les zones où (r, k) est nécessaire. Soit $P_{rk}(\mathbf{d})$ le temps total nécessaire pour les déplacements interzones, avec le temps entre les zones i et j noté p_{ij} . En

plus de ces déplacements interzones, on comptabilise un déplacement intrazone de durée p_{zz} , pour chaque soin s dans la zone z . Il est évident que $P_{rk}(\mathbf{d})=0$ quand la ressource ne nécessite aucun déplacement, i.e. $q_{szrk}(\mathbf{d})\mu_{sr} = 0$ pour tout s et tout z .

Finalement, la charge totale de travail de chaque unité k de la ressource r est :

$$\sum_{sz} \delta_{sr} q_{szrk}(\mathbf{d}) + P_{rk}(\mathbf{d}) + \sum_{sz} p_{zz} \mu_{sr} q_{szrk}(\mathbf{d}).$$

Le temps de travail journalier de chaque ressource est limité à H . Une solution admissible existe si toutes les demandes de soins sont affectées et la charge totale de chaque unité est inférieure à H .

Ce problème peut être considéré comme un problème de programmation stochastique à deux phases (*two-stage stochastic programming*). À la première phase, seule les décisions n_r de dimensionnement de ressources sont prises. À la deuxième phase, les demandes sont connues et les décisions prises concernent l'affectation des demandes aux ressources décidées à la phase 1 et la détermination de leur tournée.

Dans ce chapitre, nous nous limitons aux demandes aléatoires décrites comme suit bien que l'approche reste valable pour d'autres façons de modéliser la demande. Le volume total de demande de l'ensemble des zones est un nombre aléatoire D suivant la loi $F(x)$. Chaque unité de cette demande D provient d'une zone z avec la probabilité π_z et elle correspond au soin s avec probabilité ρ_s . Ainsi, D décrit la distribution du flux des patients, π leur répartition spatiale et ρ leur répartition épidémiologique. Ces trois distributions sont supposées indépendantes dans ce chapitre mais l'extension au cas général est triviale.

5.3 Méthode de résolution

Le problème défini dans la Section 5.2 est difficile à résoudre. Pour cela, nous proposons une méthode Monte Carlo quasi-exacte en approximant la demande aléatoire par un ensemble limité de scénarios ω équiprobables générés au hasard.

La vérification du niveau de service revient ainsi à vérifier si au moins un pourcentage $\alpha \times 100$ des scénarios ont une solution admissible. Une approche simple pour vérifier l'admissibilité dans chaque scénario ω consiste à déterminer pour chaque solution $\mathbf{n} = [n_r]$ le volume maximal de demandes pouvant être satisfaites. Une deuxième approche consiste donc à résoudre pour chaque solution $\mathbf{n} = [n_r]$ et pour chaque ressource r un problème de tournée de véhicules avec n_r véhicules pour satisfaire l'ensemble des demandes $d_{sz}(\omega)$ de la ressource r tout en minimisant la somme des heures supplémentaires. L'avantage de cette deuxième approche est la décomposition en des sous-problèmes au niveau de chaque ressource. Ces deux approches

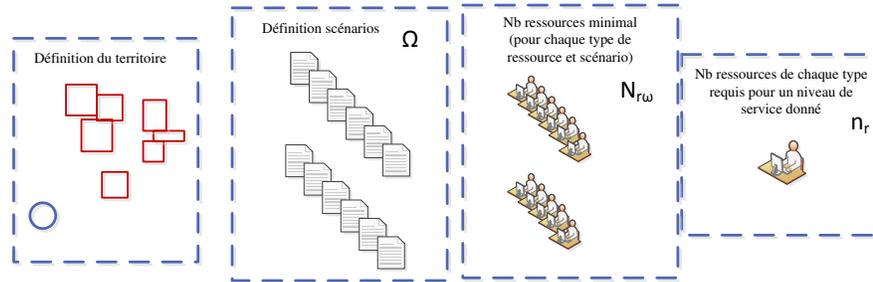


FIGURE 5.1 – Étapes successives pour la solution du problème de dimensionnement des ressources humaines

nécessitent la résolution des problèmes de tournées de véhicules pour chaque nouvelle solution et pour chaque scénario et ne sont donc pas efficaces.

En nous inspirant de la deuxième approche ci-dessus mais pour ne pas résoudre des problèmes de tournées de véhicules pour chaque nouvelle solution, nous déterminons, pour chaque scénario ω et pour chaque ressource r , le nombre minimal $N_{r\omega}$ de ressources r nécessaire pour satisfaire l'ensemble des demandes en ressources r pour tous les soins et pour toutes les zones. Nous appellerons ce nouveau problème le sous-problème journalier du scénario ω et de la ressource r .

Avec ces nouvelles quantités, une solution $\mathbf{n} = [n_r]$ est admissible dans un scénario ω , si et seulement si, $n_r \leq N_{r\omega}$ pour toute ressource r . Le problème de dimensionnement de ressource avec le niveau de service ainsi défini sera appelé le problème maître.

Ainsi, l'approche que nous proposons consiste en trois étapes :

1. Génération au hasard d'un ensemble de scénarios de demandes ;
2. Résolution pour chaque scénario ω et pour chaque ressource r du sous-problème journalier pour déterminer $N_{r\omega}$;
3. Résolution du problème maître pour la détermination de la solution optimale $\mathbf{n} = [n_r]$.

Nous détaillons par la suite les différents éléments de cette approche.

5.3.1 Problème Maître

Pour un ensemble de scénarios donnés, le problème maître consiste à déterminer le nombre de chaque ressource nécessaire pour un niveau de service donné. Il est défini comme suit :

Ensembles

- Ω Ensemble de scénarios indexés par ω .
- R Ensemble de ressources indexées par r .

Paramètres

- α niveau de service souhaité ($0 \leq \alpha \leq 1$),
- $N_{r\omega}$ nombre minimal de ressources r nécessaire pour couvrir l'ensemble des besoins en ressources r pour tous les soins et pour toutes les zones dans le scénario ω .

Coûts

- C_r Coût de salaire d'une ressource du type r .

Variables de Décisions :

- n_r nombre de ressources du type r ,
- y_ω variable binaire égale à 1 si les demandes du scénario ω sont couvertes.

De cette façon le modèle du problème maître peut être écrit comme :

$$\min \sum_{r \in R} C_r n_r \quad (5.1)$$

sous les contraintes suivantes :

$$N_{r\omega} y_\omega \leq n_r \quad \forall \omega \in \Omega, r \in R \quad (5.2)$$

$$\sum_{\omega \in \Omega} y_\omega \geq \alpha |\Omega| \quad (5.3)$$

$$y_\omega \in \{0, 1\} \quad \forall \omega \in \Omega \quad (5.4)$$

$$n_r \in \mathbb{N} \quad \forall r \in R \quad (5.5)$$

La fonction objectif 5.1 minimise le coût total d'utilisation des ressources. La contrainte 5.2 assure que les scénarios peuvent être couverts seulement si la quantité de ressources disponibles n_r est supérieure au minimum $N_{r\omega}$ requis pour couvrir le scénario ω . La contrainte 5.3 assure le respect du niveau de service minimum en nombre de scénarios couverts. Les contraintes 5.4 et 5.5 définissent la nature des variables. On remarque que la contrainte d'intégralité sur les variables n_r peut être omise sans pour autant accélérer significativement la résolution de ce modèle par un solveur commercial.

5.3.2 Sous-problème journalier d'un scénario et d'une ressource

Dans cette sous-section, nous considérons le sous-problème journalier d'un scénario donné ω et d'une ressource donnée r afin de déterminer le nombre minimal $N_{r,\omega}$ de ressources r nécessaires pour couvrir l'ensemble des demandes en ressources r pour tous les soins et pour toutes les zones.

Pour simplifier, nous ignorons les indices ω et r dans cette sous-section. Le sous-problème journalier consiste donc à définir N pour un scénario et une ressource donnés.

Le modèle basé sur des variables représentant des tournées est donné dans la Section 5.3.2.1. Par rapport à des modèles plus compacts (basés sur des variables d'arc par exemple), ce type de modèle a l'avantage d'offrir une bien meilleure relaxation continue rendant les procédures de *branch-and-cut* bien plus performantes. Des améliorations ont du être apportées à cette méthode afin de remédier à l'explosion de la taille du modèle, qui implique souvent l'appel à des algorithmes de type génération de colonnes. Ces améliorations sont présentées dans la section 5.3.2.2.

5.3.2.1 Modélisation du sous-problème journalier

En supposant que l'on dispose d'un nombre suffisant de ressources, une solution est donnée par un ensemble de tournées affectées à un sous-ensemble des ressources disponibles. Puisqu'une ressource ne peut effectuer qu'une seule tournée, le nombre de tournées affectées correspond au nombre de ressource utilisées dans la solution. Sachant que les ressources peuvent traiter certains soins sans se déplacer, il est nécessaire de considérer une tournée spéciale qui consiste à rester au SMAD. Le modèle suivant est basé sur l'ensemble de ces tournées associées à chacune des unités de ressource disponibles. Le nombre de variables impliquées est assez important et croit de manière exponentielle en fonction du nombre de zones et de pathologies considérées, mais nous proposons dans la section 5.3.2.2 des approches pour réduire le nombre de tournées à considérer.

Ensembles

- T , l'ensemble de routes admissibles indexées par t . Une route est dite admissible si elle permet de servir au moins un soin dans chaque zone visitée avec une charge totale de travail inférieure ou égale à H . Une route peut ne visiter aucune zone (i.e., rester au SMAD) et ainsi convenir à des ressources ne se déplaçant pas. Il est évident que l'ensemble de tournées à réaliser est le même pour toutes les ressources k . Dans la section 5.3.2.2, le calcul de cet ensemble est détaillé.
- K , l'ensemble des ressources du type considéré indexées par k . Nous nous limitons donc à au plus $|K|$ unités de cette ressource. Il est nécessaire de

choisir K assez grand pour assurer la faisabilité du sous-problème. Dans la section 5.3.2.2, nous présentons une borne supérieure sur le nombre de ressources nécessaires.

- S , l'ensemble des soins indexés par s .
- Z , l'ensemble des zones indexées par z . La zone $z = 0$ correspond à la structure SMAD.

Paramètres

- d_{sz} , le nombre de soins s de la zone z ,
- δ_s , le temps de service pour chaque soin s .
- H , le temps de travail maximum de chaque ressource.
- P_t , le temps total de déplacement interzones de la route t ,
- A_{tz} , un nombre binaire égal à 1 si la route t passe par la zone z et 0 sinon.
- μ_s , un nombre binaire égal à 1 si la ressource doit se déplacer pour le soin s et 0 sinon.
- p_{zz} , le temps de déplacement intrazone pour chaque soin de la zone z .

Variables de décision

- X_{kt} , une variable binaire égale à 1 si la ressource k utilise la route t .
- q_{zks} , le nombre de soins s de la zone z affectés à la ressource k .

De cette façon le modèle du problème maître peut être écrit comme suit :

$$\min N = \sum_{k \in K, t \in T} X_{tk} \quad (5.6)$$

sous contraintes :

$$\sum_{k \in K} q_{zks} \geq d_{sz} \quad \forall z \in Z, s \in S \quad (5.7)$$

$$\sum_{t \in T} X_{tk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (5.8)$$

$$\sum_{z \in Z, s \in S} (\delta_s + p_{zz} \mu_s) q_{zks} \leq \sum_{t \in T} (H - P_t) X_{tk} \quad \forall k \in K \quad (5.9)$$

$$\sum_{s \in S: \mu_s=1} (\delta_s + p_{zz}) q_{zks} \leq \sum_{t \in T} (H - P_t) A_{tz} X_{tk} \quad \forall k \in K, z \in Z \quad (5.10)$$

$$X_{tk} \in \{0, 1\} \quad \forall t \in T, k \in K \quad (5.11)$$

$$q_{zks} \in \mathbb{N} \quad \forall z \in Z, k \in K, s \in S \quad (5.12)$$

Dans cette formulation, la fonction objectif détermine le nombre minimal de ressources nécessaire pour couvrir tous les besoins, donné par le nombre de tournées effectuées. La contrainte 5.7 garantit que toutes demandes sont couvertes par des unités de ressource k . La contrainte 5.8 interdit à une unité de ressource k d'effectuer plusieurs tournées.

La contrainte 5.9 assure que la charge totale de travail affectée à la ressource k ne dépasse pas H si elle est utilisée. Le membre de gauche définit la charge de travail hors déplacements affectée à la ressource k (*i.e.*, *durées de soin et déplacements intrazones*); tandis que le membre de droite définit la charge de travail disponible après retrait de la durée des déplacements interzones (P_t) de la tournée sélectionnée pour k . Cette contrainte ne garantit pas que la tournée affectée à k passe bien par toutes les zones pour lesquelles k est affecté. Ceci est assuré par la contrainte 5.10 qui pour les zones non visitées par une tournée ($A_{tz} = 0$) force la quantité de demande affectée à zéro. Les contraintes 5.11 et 5.12 sont des contraintes d'intégrité des variables.

5.3.2.2 Améliorations du modèle

Les améliorations apportées au modèle (5.6)-(5.12) portent sur quatre points : la suppression de la symétrie entre les ressources identiques, la réduction du nombre de tournées à considérer, la limitation du nombre de ressources disponibles à considérer et l'utilisation des résultats obtenus sur les précédents scénarios pour éventuellement éviter des calculs inutiles.

1. Les ressources k étant indifférenciables, il existe une forte symétrie entre les solutions sélectionnant les mêmes tournées mais différentes par l'affectation des tournées aux ressources. La contrainte suivante permet de casser cette symétrie, en imposant aux ressources de plus petits indices de servir les plus longues tournées.

$$\sum_{t \in T} P_t X_{tk} \geq \sum_{t \in T} P_t X_{tk+1} \quad \forall k \in K \quad (5.13)$$

2. Plusieurs propriétés des solutions optimales du problème (5.6)-(5.12) permettent de limiter le nombre de tournées à considérer. Supposons dans ce qui suit que le problème est faisable, il existe alors une solution optimale dont les tournées vérifient les propriétés suivantes.
 - (a) Toutes les tournées sont élémentaires ; il n'y a pas d'intérêt à quitter une zone puis d'y retourner.
 - (b) Dans chaque zone visitée par une tournée, au moins un soin nécessitant un déplacement est traité. Il est donc possible d'obtenir une borne sur la charge de travail assignable à une tournée en cumulant à la somme des durées des déplacements interzones, un déplacement intrazone et la durée du soin nécessitant un déplacement de plus courte durée de service en chaque zone visitée. En comparant cette borne avec la durée de travail maximale autorisée H , nombreuses tournées peuvent être éliminées.
 - (c) Chaque tournée correspond au cycle hamiltonien de coût minimum prenant pour sommets les zones la composant et pour distances les durées

de déplacement interzones. Il est facile de constater que toute tournée est bien dominée par une tournée vérifiant cette propriété. Ainsi, le nombre de tournées à considérer dans le modèle (5.6)-(5.12) est borné par le nombre de sous-ensembles de zones, soit $2^{|Z|}$.

L'algorithme permet de calculer les tournées en utilisant ces propriétés. Les deux premières permettent de diminuer le nombre de tournées générées alors que la dernière est utilisée en post-procédure afin de filtrer les tournées et réduire le nombre de variables créées dans le modèle (5.6)-(5.12). Remarquons que les propriétés énoncées ne dépendent pas du scénario. Nous avons, à cette fin, légèrement affaibli la borne de la deuxième propriété en considérant des soins pouvant ne correspondre à aucune demande dans certaines zones, selon le scénario.

Ainsi, la liste des routes possibles, n'a besoin d'être réalisée qu'une seule fois par type de ressource pour générer les variables de tous les sous-problèmes de tous les scénarios. Cette liste est réalisée de la façon suivante :

On commence par réaliser une tournée nulle, qui a une distance P_t égale à zéro. Ensuite on liste toutes les tournées qui font un aller-retour pour chaque zone pour lesquelles la distance sera égal à deux fois la distance plus le besoin en ressource du type de soins de la plus courte durée ($D_t = (c_{0,z} * 2) + \min\{\delta_{sr}\}$). Puis pour chaque tournée on essaie d'ajouter un sommet à l'aide de deux conditions : (i) si le sommet n'existe déjà et (ii) si la ressource aurait la capacité de parcourir la distance additionnelle et prendre la demande du moindre besoin en ressources.

3. La taille de K doit être une borne supérieure sur le nombre de tournées à utiliser à l'optimum. Nous obtenons une telle borne pour chaque scénario et chaque type de ressource, via une heuristique constructive très simple. Tout d'abord on calcule la quantité de demande à servir en chaque zone z pour chaque type de soin s , tenant compte si la ressource à besoin de se déplacer ou pas (paramètre μ_{rs}). Ensuite, zone après zone, on affecte la demande à une unité de la ressource jusqu'à ce que la demande de la zone soit couverte ou la capacité de la ressource atteinte. Les zones sont choisies arbitrairement. Lorsqu'il n'est plus possible d'ajouter une demande à la ressource, une nouvelle est considérée. L'algorithme s'arrête lorsque toutes les demandes de toutes les zones sont couvertes. La taille de K peut donc être fixée à la valeur ainsi obtenue moins 1.
4. En vue de la résolution du problème maître, certaines résolutions de sous-problèmes peuvent être évitées. Supposons que 100 scénarios soient générés et $\alpha = 0,8$, alors au plus 20 scénarios ne seront pas couverts dans le problème maître. Étant donné un type de ressources r et ω' le 21ème scénario exigeant le plus ressources de ce type, tout scénario ω nécessitant moins de ressources de ce

type que ω' est alors sûrement couvert par toute solution faisable du problème maître ($n_r \geq N_{r\omega'} \geq N_{r\omega}$). On peut donc considérer un problème maître équivalent où les valeurs $N_{r\omega}$ seraient remplacées par des valeurs comprises entre $N_{r\omega}$ et $N_{r\omega'}$. Après avoir résolu plus de 20 sous-problèmes d'un type de ressource r donné, une telle valeur peut être maintenue et utilisée comme borne inférieure dans les sous-problèmes suivants. Cette valeur est celle obtenue pour le 21ème scénario (parmi ceux déjà résolus) exigeant le plus de ressources de ce type.

L'algorithme 1 présente un résumé de la procédure de résolution des sous-problèmes pour chaque scénario ω et chaque type de ressource r .

Algorithme 1 sous-problème journalier pour

Précondition : ω, r , territoire

si BorneInf \geq BorneSup **alors**

$$N_{r\omega} = \text{BorneInf}$$

sinon

$$N_{r\omega} = \text{solution (5.6)-(5.12) avec } |K| = \text{BorneSup} - 1$$

si infaisable **alors**

$$N_{r\omega} = \text{BorneSup}$$

5.3.3 Génération des scénarios

Le problème commence dans la définition de la situation actuelle du contexte. C'est ce que nous appelons "territoire" et contient les informations suivantes :

- le nombre de zones de demande ($|Z|$),
- le nombre de types de soins ($|S|$),
- le nombre de types de ressources ($|R|$),
- les durées de déplacement entre les zones (p_{ij}),
- l'estimation de la durée de déplacement entre deux patients à l'intérieur de chaque zone ou distance intrazone (p_{jj}),
- la capacité de travail de chaque type de ressource (λ_r),
- le charge de travail moyenne requise par chaque type de soin s (δ_{sr}) pour chaque type de ressource r ,
- la matrice de déplacement pour les ressources et les types de soins (μ_{sr}),
- le coût de salaires de chaque type de ressource (C_r).

Une fois ces données initiales récoltées, nous procédons à la génération des scénarios en deux étapes. Initialement on définit les informations suivantes :

- volume total de demande ($\sum_{zs} Q_{zs}$),

- probabilité de demande provenant d'une zone (π_j),
- probabilité que la demande soit d'un type de soin (ρ_s).

La génération de ces paramètres sera expliqué dans la partie 5.4. La deuxième étape consistant à définir la demande de chaque zone et type de soin (Q_{zs}) en utilisant les probabilités π_j et ρ_s . De cette façon, avec l'information de la demande, on complète la caractérisation de chaque scénario (ω).

5.4 Plan d'expériences

Pour la réalisation du plan d'expériences nous avons conçu trois types de territoires qui représentent des contextes différents : (i) le milieu urbain, (ii) semi-urbain et (iii) les zones rurales. La définition des zones dans les territoires est faite en plaçant les zones de façon aléatoire dans une ou deux régions carrées selon le cas. Pour les territoires urbains, un seul carré de dimensions 60x60 unités de distance est utilisé. Pour le semi-urbain deux carrés : le premier de 60x60 UD et le deuxième de 90x90 UD. Les carrés ont le même centre. Les zones sont équitablement réparties dans les deux carrés. Pour les territoires ruraux, un carré de 90x90 UD est utilisé. Dans chaque territoire on assure que la distance interzone et toujours plus grande que l'intrazone. Ensuite on calcule la matrice de distances avec une décimale. Ensuite on utilise l'algorithme de Floyd-Warshall pour s'assurer l'inégalité triangulaire du territoire.

La conception de ces territoires joue aussi sur le rapport entre les durées de déplacements inter- et intrazones (p_{ij} et p_{jj}). Ces valeurs apparaissent dans le Tableau 5.1 où la troisième et quatrième colonnes correspondent aux valeurs minimales et maximales des distances inter- et intrazones, respectivement. Les valeurs choisies sont telles que la distance entre deux patients à l'intérieur de la zone la moins dense ($\max\{p_{jj}\}$) est inférieur à la distance entre les deux zones le plus proches ($\min\{p_{ij}\}$), afin de garantir la cohérence du découpage en zones. Le choix de ces paramètres est arbitraire. L'approche reste valide pour d'autres valeurs.

	Type de territoire	c_{ij} (minutes)	c_{jj} (minutes)	ratio
I	Urbaine	[20, 60]	[5, 10]	[4, 6]
II	Semi-Urbaine	[20, 120]	[5, 15]	[4, 8]
III	Rural	[45, 120]	[10, 20]	[4.5, 6]

TABLE 5.1 – Définition de types de territoires.

La première partie du plan d'expérience consiste à mesurer le temps de calcul des différentes étapes de l'algorithme. Les expériences ont été exécutées sur un pro-

cesseur Intel®Core™2 Quad CPU avec 2.66 Ghz et les programmes linéaires en nombres entiers résolu avec la version académique du solveur ILOG-Cplex 12.0.

paramètre		r_0	r_1	r_2
capacité	q_r (min.)	300	360	360
durée de soin	$\delta_{0,r}$ (min.)	20	30	40
-	$\delta_{1,r}$ (min.)	45	50	60
-	$\delta_{2,r}$ (min.)	60	40	30
déplacement	$\mu_{0,r}$	0	0	1
-	$\mu_{1,r}$	1	1	1
-	$\mu_{2,r}$	1	1	0
coût	C_r	1500	1000	800

TABLE 5.2 – Paramètres du problème pour les 3 soins (0, 1, 2) et les trois ressources (r_0, r_1, r_2).

En outre, avec la caractérisation de la demande nous avons essayé quatre cas de demande journalière caractérisées par trois paramètres : (i) le volume de la demande, (ii) l'origine géographique de celle-ci et (iii) le type de pathologie. Les cas de demande journalière sont présentés dans la suite et sont résumés dans le tableau 5.3.

1. Dans la première situation, la prédiction de la demande est exacte et les probabilités sont constantes. On essaiera donc un changement dans la répartition des patients en effectuant différents scénarios avec les mêmes paramètres.
2. Dans le deuxième cas, les zones et les types de maladies sur le territoire sont constants, mais il existe un changement dans le volume de la demande.
3. Ensuite nous introduisons une situation où nous simulons le comportement de la structure au cours de la semaine. Dans cette caractérisation, 80% de la demande proviendra des 20% des zones qui changeront tous les jours jusqu'à 5 jours (couvrant l'ensemble du territoire). Ces zones contenant une grande proportion de la demande sont choisies aléatoirement.
4. Enfin, on génère un certain nombre de jours-type avec un niveau de demande et des probabilités de soins et origine de demande particuliers et on décide pour chaque sous-scénario le type de jour qui le correspond.

Deux indicateurs ont été conçus pour explorer des solutions. Le premier est le nombre de ressources nécessaires (solution du problème maître sans la composante des coûts) et le deuxième est le nombre de scénarios couverts en ayant une unité additionnelle de chaque type de ressource. Ensuite, quatre cas de demande journalière caractérisés par trois paramètres ont été testés. Les cas de demande journalière sont présentés dans le Tableau 5.3. Le plan d'expériences ainsi comme les résultats

	Volume	Origine	Type soin	Demande
Cas	$\sum_{zs} Q_{zs}$	π_j	ρ_s	Q_{zs}
I	Constante	Constante	Constante	Variable
II	Variable	Constante	Constante	Variable
III	Constante	80% 20%	Constante	Variable
IV	Selon jour-type			

TABLE 5.3 – Définition des situations simulées

seront discutés dans la section suivante.

De cette façon le plan d'expériences a été divisé en deux parties, la première qui mesure le temps de calcul du sous-problème journalier et la deuxième dans laquelle de différentes expériences qui correspondent à chaque cas de demande journalière sont réalisés. Dans cette deuxième partie, les paramètres, indicateurs et des tests sont expliqués au début de chaque partie.

5.5 Résultats et Conclusions

5.5.1 Temps de Calcul

Le Tableau 5.4 présente les résultats en termes de temps de calcul pour les différents types de territoires. Les expériences ont été réalisées en utilisant les paramètres du Tableau 5.2 et une demande total de 45. Ensuite 200 sous-scénarios ayant les mêmes probabilités de soins et d'origine de la demande mais en changeant la demande de chaque zone ont été utilisés. Une limite de gap de 0.1% a été utilisé pour arrêter l'algorithme. Le tableau présente le temps moyen de calcul des sous-problèmes. Le temps du problème maître sont quelques secondes et peuvent être négligés si on les compare avec ceux-ci.

Nous pouvons observer que le temps de calcul augmente quand le nombre de zones augmente. Nous observons aussi que les territoires du type urbain sont plus difficiles à résoudre que les deux autres. De plus l'écart-type dans ces territoires est aussi plus élevé.

5.5.2 Cas I

Le Tableau 5.5 présente les résultats des différents tests du premier cas. Pour chaque type de territoire, deux indicateurs de performance ont été définis : (i) le nombre de ressources minimal pour respecter le niveau de service (80% correspondant à 160 scénarios) et (ii) ce que nous avons appelé le *gain marginal*. Le gain

Temps de calcul du sous-Problème de routage. Demande = 45							
Nb zones		15		10		5	
		moyenne	écart-type	moy.	écart-t.	moy.	écart-t.
Rural	1	82.0	23.6	15.1	4.4	4.2	1.2
	2	131.2	37.8	13.5	4.0	4.1	1.3
	3	101.7	29.1	12.5	3.8	4.3	1.3
Moyenne		104.9	30.2	13.7	4.0	4.2	1.3
Semi-Urbaine	1	178.5	55.4	12.5	3.8	4.1	1.1
	2	117.2	33.4	12.8	3.9	4.2	1.4
	3	206.9	61.2	15.7	4.6	4.3	1.2
Moyenne		167.5	50.0	13.7	4.1	4.2	1.2
Urbaine	1	722.5	345.7	70.0	19.4	4.4	1.1
	2	852.7	323.5	52.9	14.6	3.1	1.0
	3	1188.3	456.9	37.6	10.4	3.8	1.2
Moyenne		921.1	375.4	53.5	14.8	3.8	1.1

Ce tableau présente la moyenne de calcul de 200 scénarios chaque type de territoire. Neuf exemples de territoires sont testés comprenant trois types différents (rural, semi-urbain et urbain) et ayant 15, 10 et 5 zones. Une limite de gap de 0.1% a été utilisée.

TABLE 5.4 – Résultats du temps de calcul dans de territoires ayant 15, 10 et 5 zones

marginal est défini comme le nombre de scénarios qui seront couverts en ayant une unité additionnelle d'une ressource. Cet indicateur peut donner information importante au décideur au moment d'augmenter la capacité de la structure. Dans ce premier cas, trois niveaux de demande (45 soins, 60 et 75) ont été testés. Il existe aussi trois territoires de chaque type et pour chaque niveau de demande (territoire I, II et III). Essayer le même groupe de paramètres dans trois territoires de chaque type permettra d'avoir un aperçu de la stabilité des solutions.

Si on compare les résultats des trois types de territoires on peut voir que les urbains sont les plus constantes en termes de quantité de ressources. Il n'y a aucun changement dans le nombre de ressources pour les niveaux de demande 45 et 60 et une différence d'une unité dans celui de 75. Cette stabilité peut être expliquée par le fait que dans un territoire urbain, la solution du sous-problème de routage est moins sensible aux changements dans l'ordre de passage. D'autre côté, si on compare les ressources entre eux, on peut voir que I_2 est celui dont on aura plus besoin et I_0 celui avec le gain marginal le plus élevé.

Les résultats du Tableau 5.5 montrent aussi qu'il n'existe pas une différence significative entre les territoires du type rural et semi rural en termes d'utilisation de ressources. On montre aussi que les ressources nécessaires peuvent changer dans de différents territoires du même type. Ce changement peut être jusqu'à 10% comme dans la ressource I_2 dans les territoires du type rural.

Les gains marginaux sont plus importants dans les territoires urbains. Ce type de territoire comporte des routes plus courtes laissant plus de capacité pour servir la demande. Une unité additionnelle d'une ressource dans les territoires ruraux doit parcourir de routes plus longues dans les milieux ruraux.

Finalement on peut dire qu'un changement dans l'origine géographique de la demande peut signifier une variation importante dans le besoins en ressources. Cette variation dans les besoins es plus grande dans les territoires ruraux que dans les urbains où il semble ne pas être significative.

Demande	No. T.	Territoire Rural						T. Semi-urbaine						T. Urbaine					
		Nb Ressources			Gain Marginal			Nb. Ress			G. Marg.			Nb. Ress			G. Marg.		
		I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
45	1	12	9	12	163	166	168	10	9	13	170	162	162	8	8	10	185	175	175
	2	11	9	12	170	170	169	11	9	13	172	171	164	8	8	10	180	172	171
	3	10	9	13	169	164	162	10	9	12	188	176	175	8	8	10	181	179	176
60	1	14	12	18	174	171	161	14	12	16	180	176	174	11	10	13	183	175	176
	2	14	12	16	171	169	172	15	12	16	169	165	168	11	10	13	176	169	173
	3	14	12	16	175	170	175	13	12	15	181	167	177	11	10	13	186	176	175
75	1	17	15	22	172	163	160	17	15	22	172	163	160	13	12	16	176	165	166
	2	16	16	21	180	163	162	16	16	21	180	163	162	13	12	16	166	167	162
	3	17	15	20	169	169	168	17	15	20	169	169	168	13	11	16	167	168	165

TABLE 5.5 – Résultats cas I, différents types de territoires avec 15 zones.

5.5.3 Cas II

	Volume	Origine	Type soin	Demande
Cas	$\sum_{zs} Q_{zs}$	π_j	ρ_s	Q_{zs}
II	Variable	Constante	Constante	Variable

TABLE 5.6 – Rappel deuxième cas (voir Tableau 5.3 pour l’information complète du plan).

Cette partie du plan d’expériences consiste à faire varier la quantité totale de demande en laissant constantes les probabilités d’origine et type de soins. Pour chaque expérience on a défini 200 sous scénarios dans lesquels le volume de demande changeait entre (i) 45 à 60, (ii) 45 à 75 et (iii) 60 à 75. Le résultat de cette façon de générer les expériences est qu’on change non seulement la demande dans chaque zone, comme dans le premier cas, mais aussi le volume total de demande. On commence la discussion avec les résultats des territoires urbains, ensuite avec les semi-urbains et finalement avec les ruraux.

T. Urbains		15 Zones						10 zones					
Demande	nb	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
45-15	1	9	10	11	166	160	163	14	8	8	164	170	161
	2	9	9	12	170	166	164	13	8	9	166	167	160
	3	9	9	12	174	164	162	13	9	8	170	161	165
45-30	1	11	10	14	162	167	163	16	11	10	171	163	165
	2	11	10	14	161	165	161	16	10	10	163	168	161
	3	11	11	14	171	163	168	16	11	10	172	167	168
60-15	1	12	11	14	165	167	173	17	11	10	170	163	167
	2	12	11	15	175	178	172	17	10	11	165	170	160
	3	12	11	14	166	164	169	17	11	10	170	165	168

TABLE 5.7 – Résultats cas II, territoires urbains

Concernant les territoires urbains on peut dire qu’une variation dans la demande totale produit de solutions qui sont moins stables que dans le cas précédent puisqu’il existe de variation entre les territoires I, II et III de chaque expérience. On peut remarquer aussi qu’il les résultats du premier cas et celui-ci sont conformes. Par exemple, on regarde les ressources nécessaires dans un territoire urbain dans le premier cas avec 60 demandes on obtient 11, 10 et 13 pour les ressources I_0 , I_1 et I_2 . Si on les compare avec les ressources nécessaires dans un territoire du deuxième groupe d’expériences (demande entre 45 et 75) où l’espérance de la demande est 60

on obtient 11, 10 et 14. Les deux résultats sont très proches les uns aux autres.

On peut remarquer que l'effet d'une variation de la quantité de demande dans les besoins en ressources. Cet effet est plus important dans les niveaux faibles de demande. On peut le voir quand on compare les résultats du premier groupe d'expériences avec le dernier. Dans le premier groupe la demande varie entre 45 et 60 pendant que dans le dernier cette variation est entre 60 et 75. La même variation de 15 demandes va produire de résultats moins constantes lorsque la demande est faible.

On remarque finalement un résultat intéressant : si on compare les ressources nécessaires entre les territoires ayant 15 zones avec ces de 10, on peut voir un basculement de l'activité entre les différents types de ressources. En prenant l'exemple des expériences avec demande allant de 45 à 60 on peut voir que dans les territoires de 15 zones les besoins en ressources sont 11, 10 et 14 pour les ressources I_0 , I_1 et I_2 respectivement. Maintenant, dans les territoires ayant 10 zones les besoins sont de 16, 11 ou 10, et 10. Ce comportement pourrait être expliqué avec la définition des ressources trouvé dans le Tableau 5.2. Il est pertinent de rappeler que les deux types de territoires ont la même taille donc celui de 10 zones est moins dense. En pratique on aura de déplacements plus longs entre les zones. Ceci est important quand la ressource a peu de capacité (comme la ressource I_0). Les routes étant plus longues, on aura besoin de plus de ressources.

T. Semi-urbains		15 Zones						10 zones					
Demande	nb	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
45-15	1	12	10	14	166	169	164	17	10	11	161	169	160
	2	12	11	15	172	162	162	17	11	10	168	163	161
	3	11	10	14	171	168	166	16	10	9	169	160	163
45-30	1	14	12	18	162	161	160	21	13	13	171	164	162
	2	15	13	17	165	163	167	21	13	13	165	162	162
	3	13	12	17	169	165	162	20	12	12	167	162	160
60-15	1	15	13	17	164	161	166	22	13	13	165	166	162
	2	16	13	18	163	166	162	22	14	13	166	162	160
	3	14	13	17	174	165	170	21	12	12	170	169	164

TABLE 5.8 – Résultats cas II, territoires semi-urbains avec 15 et 10 zones.

Concernant les territoires semi-urbains on peut voir une augmentation des besoins en ressources en relation avec les territoires urbains. Cette différence, entre 30% et 40%, met en exergue l'importance des déplacements dans le problème de dimensionnement dans les soins à domicile : avec les mêmes quantités de demande on a besoin d'une augmentation importante due aux trajets entre les patients.

Les gains marginaux dans ce cas sont plus faibles dans le territoire urbain (effet qu'on avait remarqué aussi dans le cas I du plan d'expériences). Ici, un incrément d'une unité de ressource augmente le niveau de service jusqu'à 87%.

Finalement, on peut remarquer en comparant les Tableaux 5.8 et 5.9 que la différence entre les ressources nécessaires de entre les territoires semi-urbains et ruraux est très petite. Dans chaque expérience cette différence est d'une ou deux unités de ressources.

T. Ruraux		15 Zones						10 zones					
Demande	nb	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
45-15	1	12	12	14	165	160	160	16	10	10	166	170	163
	2	12	10	16	162	172	160	15	10	10	166	165	162
	3	12	11	14	165	163	164	17	12	11	170	162	161
45-30	1	15	13	18	165	167	164	19	12	12	164	162	162
	2	14	13	13	166	162	164	18	12	12	163	163	162
	3	14	12	18	166	170	162	21	14	14	170	163	163
60-15	1	15	14	19	176	163	164	20	13	12	173	167	167
	2	14	13	19	171	163	161	20	12	12	164	176	164
	3	13	13	19	171	163	161	22	14	13	168	162	161

TABLE 5.9 – Résultats cas II, territoires ruraux avec 15 et 10 zones.

Concernant le comportement des solutions dans les territoires ruraux, on peut dire que les gains marginaux sont plus petits alors que les ressources nécessaires sont plus importantes. Évidemment, le temps de déplacement des ressources est plus significatif que dans le milieu urbain. Ceci peut être la raison pour laquelle les deux structures de soins à domicile les plus importantes en France sont principalement implantées dans de grandes villes. Le temps de déplacement est la problématique principale des structures se trouvant en milieu rural lorsqu'il s'agit de dimensionner des ressources. Dans la suite on continue avec l'analyse des résultats du cas III dans le plan d'expériences.

5.5.4 Cas III

Le troisième cas consiste à évaluer les résultats en ressources nécessaires en simulant le comportement réel de certaines structures. 80% de la demande provient de 20% de zones. Une structure peut décider de servir la demande de 20% de zones le lundi, 20% le mardi, et ainsi de suite. Les probabilités du type de soin restent constantes alors que la demande de chaque zone change.

	Volume	Origine	Type soin	Demande
Cas	$\sum_{zs} Q_{zs}$	π_j	ρ_s	Q_{zs}
III	Constante	80% 20%	Constante	Variable

TABLE 5.10 – Rappel troisième cas (voir Tableau 5.3 pour l'information complète du plan d'expériences)

T. Urbains		15 Zones						10 zones					
		I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
45	1	8	7	10	172	178	170	12	8	7	199	178	179
	2	8	8	10	190	179	180	11	8	8	185	161	161
	3	8	7	10	173	171	169	12	8	7	196	178	182
60	1	10	11	13	187	165	167	15	10	9	182	163	164
	2	10	10	13	174	163	163	15	10	9	181	166	169
	3	10	10	14	175	168	161	15	10	10	184	168	164
75	1	13	12	16	173	170	174	19	12	12	180	165	165
	2	13	12	16	176	166	165	19	12	11	179	166	169
	3	13	12	16	165	163	173	19	12	11	176	165	173

TABLE 5.11 – Résultats cas III, territoires urbains avec 15 et 10 zones

A partir des expériences dans les territoires du type urbains on peut conclure que les gains marginaux sont élevés en relation aux cas précédents. On peut voir par exemple que dans le territoire I, lorsque la demande est 45, une unité additionnelle de la ressource I_0 permettra de couvrir la demande dans le 99% de cas. Une explication se trouve dans le fait que le milieu urbain le temps de déplacement est moins important que celui de soins, permettant de concevoir de trajets qui sont équivalents.

T. Semi-urbains		15 Zones						10 zones					
Demande	nb	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
45	1	12	10	13	174	169	171	19	11	10	173	166	167
	2	12	10	14	166	163	162	20	10	9	162	161	163
	3	12	9	12	164	166	160	18	11	9	163	160	160
60	1	16	13	18	164	168	162	25	15	13	175	169	169
	2	16	13	18	168	166	162	25	13	12	160	160	160
	3	15	12	17	164	169	161	24	13	12	162	162	161
75	1	20	17	21	169	160	170	30	18	16	169	161	161
	2	19	16	23	160	161	165	31	17	16	165	164	163
	3	18	16	21	174	164	166	29	16	15	160	160	160

TABLE 5.12 – Résultats cas III, territoires semi-urbains avec 15 et 10 zones.

Les gains marginaux dans les territoires semi-urbains est plus faible que les urbains comme on peut voir en consultant les Tableaux 5.11 et 5.12. Concernant les ressources nécessaires on remarque une quantité plus importante avec les mêmes niveaux de demande que dans le premier de deuxième cas. Si on compare les ressources nécessaires lorsque la demande totale est de 75 dans premier cas (13, 12, 16) avec les résultats du Tableau 5.12 (30, 18, 16) on voit clairement une différence.

Cette différence peut être expliquée par le fait qu'une partie importante de la demande est distribuée dans peu de zones. Exiger un niveau de service de 80% est équivalent à choisir le 80% de scénarios à couvrir en minimisant les ressources. Or la définition des expériences dans ce troisième cas, demande à que dans le 20% des sous-scénarios, la demande sera distribuée dans de zones éloignées. Le fait qu'on doit couvrir au moins un de ces scénarios fait qu'on doit assurer le niveau de ressources correspondant. Par exemple : Si on imagine une situation dans laquelle 159 scénarios ont besoin de 3 unités de ressources pour être couverts et 41 ont besoin de 10, pour couvrir 160 scénarios, on doit assurer 10 ressources.

Concernant le territoire rural on peut voir plusieurs choses. D'abord, le gain marginal est haut si on le compare avec les résultats précédents. Ce gain marginal nous donne de l'information sur les territoires : si une unité additionnelle permet d'arriver à un niveau de service de 90%, les zones sont proches les unes aux autres et

T. Ruraux		15 Zones						10 zones					
Demande	Trr.	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
45	1	11	9	13	166	171	163	15	10	8	180	163	174
	2	10	10	13	180	162	164	15	9	8	180	172	174
	3	10	9	12	176	169	173	16	10	9	163	160	161
60	1	14	13	17	181	167	170	19	13	11	180	165	168
	2	14	12	17	172	180	167	20	12	10	172	171	167
	3	13	12	17	175	165	160	21	14	13	172	164	164
75	1	17	16	21	178	167	169	23	16	14	180	160	160
	2	17	15	21	172	168	163	24	15	14	177	173	168
	3	16	16	21	177	162	162	27	15	14	160	160	160

TABLE 5.13 – Résultats cas III, territoires ruraux avec 15 et 10 zones.

l'impact de diviser la demande avec la stratégie 80%/20% n'est pas très important. Ensuite on peut voir que les solutions sont relativement constantes et on remarque le basculement d'activité des cas précédents.

Si on compare les résultats du Tableau 5.12 et ceux du 5.13 on remarque que les ressources nécessaires dans les territoires ruraux sont moins importants que ceux dans les territoires urbains de 21% environ. Cet écart s'explique par l'éloignement important entre les quelques zones rurales générant des demandes, à cause de la règle des 80-20. Ce phénomène est atténué dans les territoires ruraux qui ne comportent que des zones rurales et qui laissent donc plus d'opportunités aux infirmiers de se déplacer de proche en proche pour compléter leur charge de travail.

5.5.5 Cas IV

Les sous scénarios dans cette partie du plan d'expériences sont définis à l'aide d'un jour type. On a conçu quatre jour-type avec de niveaux de demande différents : (i) 45, (ii) 55, (iii) 65 et (iv) 75. Les probabilités de soins et d'origine de la demande changent entre les sous-scénarios. Tous les jour-type ont la même probabilité d'être choisis.

Les résultats, présentés dans le Tableau 5.14, montrent que les solutions dans les territoires ruraux et semi-urbains sont très proches tant en termes de ressources nécessaires comme de gain marginal. Ces solutions ont une variabilité de jusqu'à 3 unités de ressources comme dans le territoire rural II et III pour la ressource I_1 ou dans le semi-urbain entre le II et III pour I_0 .

Concernant les ressources on peut dire que dans les territoires ruraux ayant 15 zones la ressource la plus stable est I_1 , pendant que dans le semi-urbain est la plus

Territoire		15 Zones						10 zones					
		I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
R.	1	16	14	21	169	171	165	21	13	13	171	164	163
	2	15	14	21	173	163	162	21	13	13	175	170	165
	3	16	14	19	162	162	169	23	16	14	170	161	163
S.U.	1	15	15	19	173	161	161	23	15	13	171	163	168
	2	17	14	19	162	163	166	25	14	12	163	163	164
	3	15	13	18	166	169	170	22	13	13	164	164	160
U.	1	14	12	16	176	162	165	18	12	10	179	163	168
	2	14	11	16	172	162	164	19	12	11	175	162	165
	3	15	14	17	176	162	165	18	11	10	180	163	167

TABLE 5.14 – Résultats cas IV, différents types de territoires avec 15 et 10 zones.

instable. Dans les territoires ayant 10 zones on peut voir que dans les deux premiers territoires ruraux ont la même solution en termes de ressource nécessaires mais différent en gain marginal. Les solutions dans les territoires semi-urbains ayant 10 zones sont variées. Finalement, les gains marginaux du territoire semi-urbain II ayant 10 zones sont faibles. Ceci veut dire que peut importer quelle est la ressource incrémentée, le niveau de service ne sera relativement le même (passant de 80% à 82%).

5.5.6 Comparaison entre les types de demande journalières

Le tableau 5.15 présente les résultats en moyenne pour chaque cas de demande journalières, pour chaque type de ressource et chaque type de territoire. D'abord on remarque que les différences entre les trois premiers cas de demande journalière ne sont pas significatifs. Parmi tous les cas de demande journalière, le cas IV nécessite le plus de ressources en moyenne. On peut aussi voir que le territoire rural et semi-urbain produisent les mêmes résultats. Les expériences dans le territoire urbain ont besoin de moins de ressource comme cela est évident à cause des déplacement plus courts. Finalement on peut voir que les résultats dans les gain marginaux ne présentent pas des variations importantes entre les différents cas de demande journalière.

Demande	Territoire Rural						T. Semi-urbain						T. Urbaine					
	Nb Ressources			Gain Marginal			Nb. Ress			G. Marg.			Nb. Ress			G. Marg.		
	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2	I_0	I_1	I_2
Cas I	13.9	12.1	16.7	171.4	167.2	166.3	13.7	12.1	16.4	175.7	168.0	167.8	10.7	9.9	13.0	177.8	171.8	171.0
Cas II	13.4	12.3	16.7	167.4	164.8	162.2	13.6	11.9	16.3	167.3	164.4	164.3	10.7	10.2	13.3	167.8	166.0	166.1
Cas III	13.6	12.4	16.9	175.2	167.9	165.7	15.6	12.9	17.4	167.0	165.1	164.3	10.3	9.9	13.1	176.1	169.2	169.1
Cas IV	15.7	14.0	20.3	168.0	165.3	165.3	15.7	14.0	18.7	167.0	164.3	165.7	14.0	11.5	16.0	174.0	162.0	164.5

TABLE 5.15 – comparaison entres les scénarios.

5.5.7 Conclusion et Perspectives

Dans ce chapitre un modèle de dimensionnement de ressources humaines qui prend en compte des incertitudes de la demande a été développé ainsi comme une nouvelle approche de résolution. L'objectif du problème est de dimensionner les ressources afin de garantir un niveau de service. L'approche de résolution consiste à modéliser l'incertitude de la demande à l'aide de différents scénarios. Ensuite calculer le quantité minimal pour chaque ressource et chaque scénario pour couvrir le scénario. Enfin, minimiser le quantité total de ressources en choisissant les scénarios à couvrir.

Ce modèle a été testé dans trois types de territoires différents pour plusieurs cas de demande journalière. On peut remarquer dans les résultats que les territoires urbains nécessitent moins de ressources à cause de la charge de déplacement. On remarque une légère différence entre les territoires semi-urbains et ruraux. Les résultats permettent aussi au décideur de connaître quelle ressource produira la plus grande amélioration dans le niveau de service dans le cas d'une unité additionnelle.

Finalement, ce travail peut être approfondi en intégrant les incertitudes dans les besoins en ressources ainsi comme la probabilité des changement des protocoles de soins. Cette incertitude change de manière drastique les charges de ressource et est un défi important dans le dimensionnement des ressources.

Conclusion générale

Le système de santé aujourd'hui se trouve face à une augmentation de la demande, le vieillissement de la population et le besoin de contrôler les coûts. Dans ce contexte de changements, il est nécessaire de trouver des alternatives à l'hospitalisation traditionnelle afin de désengorger les hôpitaux, augmenter la satisfaction des patients, réduire les coûts de prise en charge, etc. L'une de ces alternatives est la livraison de soins médicaux au domicile des patients.

Les structures de soins médicaux à domicile ont grandi en nombre et constituent aujourd'hui un acteur important dans le système de santé. Ces structures permettent la prise en charge de soins techniquement complexes comme la chimiothérapie et les soins palliatifs. De nombreux traitements pourraient être délivrés à domicile d'un point de vue technique si des contraintes administratives et judiciaires ne les restreignaient pas [Buthion 2010].

Pourtant, l'apparition et le développement de ce nouvel acteur met en exergue des enjeux importants au niveau économique et social, comme par exemple le basculement de l'activité des professionnels de santé salariés vers les professionnels libéraux. D'un point de vue de la recherche opérationnelle les enjeux consistent par exemple à intégrer le déplacement des ressources, l'incertitude de la demande, l'incertitude épidémiologique entre autres. La pertinence et la viabilité économique de ces structures de soins médicaux à domicile dépendent des réponses apportées et méthodes développées pour étudier et surmonter ces difficultés.

La revue de littérature sur la comparaison soins à domicile/hôpital montre que les patients préfèrent être soignés à domicile (sous réserve que les résultats soient équivalents). Les conclusions des études comparant les deux modes de prise en charge en termes de résultats de santé sont dépendants de la pathologie et du traitement. Pourtant, quelle que soit la pathologie ou le traitement, ce changement de mode de prise en charge pour livrer les soins médicaux entraîne des défis dans les différents niveaux décisionnels à l'intérieur des structures et pour le système de santé en général. Du point de vue stratégique, le défi consiste à minimiser les coûts de livraisons de matériel, médicament et le déplacement du personnel. D'un point de vue tactique le choix des activités à réaliser, la couverture épidémiologique et spatiale. Enfin, la prise en compte des incertitudes constitue un verrou scientifique majeur dans ce type de problèmes.

Dans ce travail de thèse nous avons développé des méthodes en recherche opérationnelle pour relever ces défis. Du point de vue stratégique, la minimisation des coût de transport et déplacements a été abordé avec un modèle de localisation de structures, en tenant compte des variations dans le temps, des autorisation pour

certain types de pathologies, du changement dans la charge des ressources induite par les déplacements, et de la quantité minimale de ressources requise pour délivrer certains soins. Trois modèles ont été développés : (i) un modèle mono-période qui permet de montrer l'importance des coûts liés aux ressources (salaires, déplacements) par rapport aux autres coûts, une stabilité dans les distances moyennes et maximale quand la structure de coûts change, et l'impact d'un changement dans le coût de pénalisation pour ne pas accepter une demande sur la couverture ; (ii) un modèle multi-période permettant d'intégrer les variations de la demande dans le temps. Ce modèle produit des solutions stables en termes de couverture et de distances entre les patients et les structures, et permet d'évaluer la robustesse du dimensionnement des ressources face aux variations de la demande dans le temps ; et (iii) un modèle permettant de tenir compte de l'existant et de l'évolution des professionnels libéraux dans les zones de demande lorsqu'il s'agit de choisir l'emplacement des installations.

Ensuite la problématique au niveau tactique a été abordée avec une approche en modélisation et optimisation pour le choix des activités à réaliser, la couverture épidémiologique et spatiale. Dans cette partie du travail deux modèles ont été proposés. Le premier consiste à choisir quels sont les activités à réaliser et le type de ressources à utiliser en tenant compte des aspects économiques. Ce modèle décide aussi des pathologies à accepter et des zones à couvrir. Au travers d'un plan d'expérience, nous avons pu montrer : (i) les effets sur l'affectation de la demande et le dimensionnement des ressources induit par les changements du coût des libéraux ; (ii) l'effet induit par l'augmentation et la diminution du coût des salaires ; (iii) la stabilité par rapport aux changements dans les coûts fixe par pathologie et d'autorisation. Le deuxième modèle consiste à maximiser la couverture en fixant une valeur maximale du financement et permet de montrer l'impact de cette variation dans le coût par traitement, le dimensionnement des ressources et l'affectation de la demande. Les résultats sont présentés pour un territoire urbain et un territoire rural.

Enfin, du point de vue opérationnel la problématique de la prise en compte des variations dans la demande a été abordée en développant un modèle stochastique de dimensionnement des ressources qui prend en compte trois types d'incertitude : (i) volume de la demande, (ii) épidémiologique et (iii) origine de la demande. Pour réaliser le dimensionnement des ressources de la structure, le modèle tient compte des problèmes sous-jacents de déplacement des ressources à l'aide d'une estimation des tournées réalisées. On peut montrer la performance du modèle dans des territoires urbains, ruraux et semi-ruraux. Un plan d'expérience permet d'observer quatre cas différents : (i) incertitude dans la demande quand les probabilités sont stables, (ii) une variation dans le volume quand l'origine de la demande et le type de soin sont connus, (iii) une incertitude de la demande quand la probabilité géographique change selon une règle spécifique, et (iv) en considérant certains jours-type (e.g. jours avec une forte demande, avec une faible demande, etc...).

L'intérêt des approches développées pour traiter les problématiques de cette

thèse est double. D'une part, les méthodes scientifiques innovantes permettent de tenir compte de nombreux paramètres telles les incertitudes et de nouvelles contraintes liées aux particularités du problème. D'autre part, l'application de modèles dans la réalité a été une préoccupation constante : pour chaque plan d'expérience les instances ont été créées en utilisant des valeurs inspirés de la réalité ; pour les paramètres difficiles à calculer nous avons fait des hypothèses réalistes et qui pourraient être raffinées avec une recherche sur le terrain.

Ce travail peut donner lieux à plusieurs perspectives. Concernant le problème de localisation de structures de soins médicaux à domicile, un modèle intégrant les ressources libérales a été proposé. Une version stochastique qui prendrait en compte des incertitudes dans la demande et les besoins en ressource serait l'extension naturelle. Pour le problème des choix des activités et de la couverture épidémiologique et spatiale nous proposons (i) d'améliorer les données d'entrée pour l'appliquer dans des instances plus réalistes ; (ii) de développer une version multi-période pour prendre en compte la variation des paramètres et de la demande, et (iii) d'intégrer le modèle à une plateforme de cartographie géographique pour donner des éléments qui contribuent à la prise de décisions aux niveaux stratégiques et tactique. Enfin, concernant le problème de dimensionnement de ressource, l'intégration des incertitudes dans les besoins en ressources et l'étude des effets produits serait très pertinent et utile.

Finalement il est important de continuer à développer des extensions de ces problématiques en privilégiant l'intérêt scientifique et l'implantation dans la réalité. Nous croyons que le champ de recherche reste ouvert, notamment pour les problématiques de la prise en charge des incertitudes dans les besoins en ressources, la variation des paramètres dans le temps et la recherche sur le terrain pour trouver des valeurs d'entrée plus précis.

Définitions

- **BCPO** : *Broncho-pneumopathie chronique obstructive* est une maladie respiratoire caractérisée par l’obstruction des voies aériennes. La cause principale de cette maladie est l’addiction au tabac.
- **ECA** : *Essai Clinique Aléatoire* est une méthodologie évaluer les effets d’une certain changement dans le traitement des patients, comme par exemple un nouveau médicament. Il a été utilisé particulièrement pour évaluer les impacts du choisir la maison comme l’endroit pour réaliser les activités médicales. Cette méthodologie consiste à choisir un groupe de contrôle au sein duquel le traitement restera comme avant l’étude. à la fin de l’expérience, les indicateurs de performance de ce groupe seront comparés avec les autres pour justifier que les possibles changement dans un groupe sont indépendants du fait d’être observé.
- **HAD** : *HAD comme une alternative à l’hôpital* : la prise en charge d’un patient en lui offrant les mêmes garanties en termes de sécurité et résultats biomédicaux que l’hôpital mais en réalisant la plupart des activités au domicile du patient. *HAD en tant que structure* : la structure organisationnelle créée par la loi NBNN qui vise à être une alternative à l’hôpital.
- **QALY** : *Quality Adjusted Life Years* est une mesure de la qualité de vie des patient qui prend en compte, pas seulement l’espérance de vie mais des index de mobilité et habilité fonctionnelle entre autres.
- **OSAD** : *Organisation de Soins à Domicile* est un projet financé par la région Rhône-Alpes qui a comme objectif d’apporter des méthodes et outils issus du Génie Industriel en réponse aux problématiques majeures de gestion et de pilotage des structures de prise en charge à domicile pour les soins complexes. Cette thèse fait partie des travaux réalisés dans le cadre de ce projet.
- **SSIAD** *Services de Soins Infirmiers à Domicile* : sont une alternative à l’hospitalisation traditionnelle, concentré spécialement sur les patients âgées et dépendantes (voir la partie 2.2).
- **SAD (Soins à domicile)** : L’ensemble d’activités ayant un caractère médicale qui se développent au domicile du patient dans le cadre d’un projet thérapeutique. Faire différence avec *HAD*. Les soins à domicile peuvent être faits en dehors d’un structure de *HAD*.
- **Structure Organisationnelle** : Dit aussi *Structure*, : un ensemble d’acteurs, ressources et modalités de fonctionnement qui sont soumis à une normativité, qui ont un but commun et un modèle économique qui la permet de perpétuer

dans le temps.

- **T2A (Tarification à l'activité)** : , par opposition à la tarification par enveloppe globale, l'idée est de ne payer que pour les activités réalisées. Il existe une liste d'activités avec un prix moyen de chaque. La structure fait un bilan d'activités qui seront remboursées par la suite.
- **UFLP (Uncapacitated Facility Location Problem)** : Problème de localisation d'installations introduit par [Balinski 1964]. Ce problème consiste à choisir les localisations parmi une liste de possibilités pour des installation n'ayant pas une capacité limitée et affecter la demande, afin de minimiser la somme de distances entre les localisations et les différents clients. pour une description précise du problème, voir partie 3.2.4.

Information Projet OSAD

Parmi les 27 structure d'HAD existant en Rhône-Alpes, 17 ont accepté collaborer dans le projet OSAD :

Nom de la structure	Statut
Centre hospitalier Ardèche Méridionale - Aubenas	Public
Centre hospitalier de la région d'Annecy Service HAD	
Centre hospitalier intercommunal Hôpitaux des Pays du Mont-Blanc - Sallanches	
H.A.D Centre Hospitalier Général de Roanne	
HAD CHU de Grenoble	
HAD du Bassin Montilien Centre hospitalier de Montélimar	
Service d'HAD C.H.I. Annemasse Bonneville	
Service d'HAD Centre Hospitalier de Chambéry	
Service H.A.D. Centre Hospitalier - Crest	
Service HAD Centre Hospitalier Lucien Hussenel - Vienne	
HAD du Centre Léon-Bérard - Lyon	
Soins et Santé - Lyon	
GCS Santé à Domicile - St Priest en Jarez	Privé
HAD 74 - Seynod	
Had Pédiatrique ALLP - Lyon	
Hospitalisation à Domicile OÏKIA - Andreaieux Bouthéon	
Service HAD EOVI service et soins - Romans sur Isère	

TABLE B.1 – Liste des HAD participants dans le projet

Nb. HAD	File Active	Statut	Ressources Humaines					Personnel Libéral		
			Nb. Mé- decins	Nb. Cadre	Nb. IDE	Autres RH	Total	Nb. Mé- decins	Nb. IDE	Autres
1		public	0,5	1,0	5,0	4,5	11,0	45	109	3,6
2			2,8	2,6	10,3	4,9	20,6	145	250	120
3			1,0	0,9	4,5	1,4	3,3	0	250	0
4	35		1,0	2,0	18,0	12,0	33,0	175	50*	X
5	25		1,0	1,0	6,0	3,25	11,3	0	100	79
6			0,5	0,85	10,3	3,0	14,6	0	0	0
7			1,4	1,0	10,3	9,25	22,0	0	2	0
8			1,0	1,0	7,5	7,5	17,0	0	0	0
9			0,5	1,0	6,5	8,5	16,5	X	X	X
10	21		0,5	1,0	6,0	4,6	12,1	X	15	3
11	240	privé	4,0	8,0	8,0	6,0	26,0	900	1080	X
12			1,0	1,0	4,2	0,9	7,2	0	0	0
13			1,5	2,6	4,6	3,5	12,2	0	0	0
14			2,8	2,0	5,0	2,0	11,8	2200	0	6200
15			2,8	7,0	8,0	5,8	23,6	485	450	0
16			0,7	2,8	14,6	13,2	31,3	0	0	0
17			0,9	1,0	9,5	4,0	15,5	0	0	X

TABLE B.2 – Type et nombre de ressources dans les HAD ayant participé au projet OSAD. * Nb. cabinets.

Indicateur	Mode de Prise en Charge (PEC)					
	Total	Soins Palliatifs	Traitement voie intra-veineuse	Nutrition Parentéral	Pansements complexes et soins spécifiques	soins de <i>nursing</i> lourds
Nb. d'établissements	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	25,0
Nb. de journées	388 450	26.22%	8.46%	10.29%	11.39%	8.94%
Age moyen	61,6	70,7	56,1	58,2	68,6	73,7
Karnofsky moyen	50,0	40,0	50,0	40,0	50,0	40,0
AVQ physique moyen	10,3	11,3	8,6	13,2	9,8	12,7
AVQ psycho. moyen	3,6	3,9	2,9	4,7	3,2	3,8
Nb. séjours	14 225	23.06%	15.01%	6.01%	7.78%	4.47%
Nb. séjours complets	10 771	14.36%	9.04%	3.52%	4.86%	2.37%
Durée moyenne séjour	16,9	25,2	12,0	26,2	32,5	39,0

TABLE B.3 – Principaux modes de prise en charge en Rhône-Alpes en 2011

Indicateur	Valeur				Changement 2005-2011
	2005	2007	2009	2011	
Nb. d'établissements	7,0	12,0	25,0	27,0	286%
Nb. de journées	90 290	189 610	288 082	388 450	330%
Age moyen	62,8	63,7	62,6	61,6	-2%
Karnofsky moyen	40,0	50,0	40,0	50,0	-
AVQ physique moyen	11,4	10,5	10,4	10,3	-10%
AVQ psy. moyen	4,1	3,8	3,8	3,6	-12%
Nb. de séjours	2 744	5 964	11 160	14 225	418%
Nb. séjours complets	1 613	4 081	8 626	10 771	568%
Durée moyenne de ces séjours	24,2	21,2	16,3	16,9	-30%

TABLE B.4 – évolution de l'HAD en Rhône-Alpes entre 2005 et 2011

Valeurs des paramètres des applications réels

C.1 Problème localisation mono-période

Tout d'abord on présente un exemple d'un territoire réel divisé en territoires qui a été utilisé pour en dégager les zones géographiques dans les instances : C.1

A continuation seront présentés les valeurs des différents paramètres pour la génération des scénarios. Pour ce problème les paramètres sont :

- Set $R = 0$.IDE, 1.Aide Soignante, 2.Administration, 3.Coordination, 4.Accueil.
- Set $P = 0$.Soins Palliatifs, 1.Prise en charge de la douleur.
- Set $J =$ voir TableC.1.
- Demande δ_{jp} : Voir Tableau C.2.
- Distance d_{ij} : La matrice de distance a été généré de façon aléatoire en ayant les distances et les temps de trajet réels entre les zones qui sont les centres des clusters de patients. Le Tableau C.3 présente les distance entre les centres des clusters.
- Besoins en ressources τ_{pr} : Pour estimer les besoins en ressource on suppose qu'une séance de soins palliatifs a besoin de 5h de travail, pendant qu'une de prise en charge de la douleur de 3h. Ce choix est arbitraire et a comme objectif d'illustrer comment appliquer le modèle à un exemple réel. Portant ces données serait facilement calculables en réalité. L'estimation de la durée des séances nous donnent les besoins en ressource suivants, présentés dans le TableauC.4.
- Quantité minimale de ressources pour autorisations η_{pr} : Ainsi comme l'estimation de la durée des séance de soins, le choix de ce paramètre est arbitraire, pourtant il serait facilement calculable en réalité. Ce paramètre est présenté dans le Tableau C.5.
- Capacité q_r : L'estimation de la capacité des ressources pour cet exemple est présentée dans le Tableau C.6.
- Pourcentage d'affectation de la distance ξ_r : Voir Tableau C.6.
- Coût fixe d'avoir une unité de ressource a_r , correspond au salaire pendant l'horizon du temps : Voir Tableau C.6.

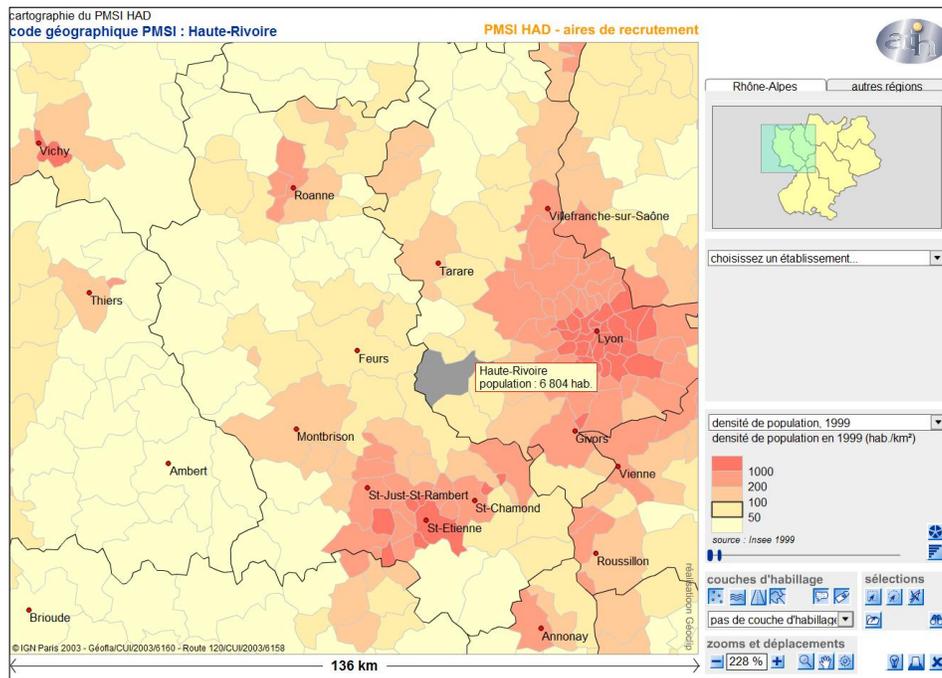


FIGURE C.1 – Exemple de distribution géographique des patients

01	Roanne	50 763	30	St-Chamond	37378
02	Régny	3 121	31	Saint-Jean-Bonnefonds-2	3 044,5
03	Montagny	1 394	32	Saint-Paul-en-Jarez-2	3 084
04	Coutouvre	4 797	33	La Grand-Croix	9 448
05	Charlieu	7 256	34	L'Horme	4 639
06	Pouilly-sous-Charlieu	6 677	35	Lorette	4 843
07	Perreux	14 137	36	Sorbiers-2	3 699,5
08	Saint-Romain-la-Motte	3 631	Total		66 136
09	Ambierle	1 728	37	St-Etienne	180 210
10	Saint-Haon-le-Châtel	7 107	38	St-Genest-Malifaux	7 865
11	Pouilly-les-Nonains	6 864	39	Saint-Paul-en-Jarez-1	3 084
12	Riorges	10 074	40	Saint-Jean-Bonnefonds-1	3 044,5
13	Cordelle	1 552	41	Sorbiers-1	3 699,5
Total		119 101	42	La Talaudière	6 700
14	St-Just-St-Rambert	13 954	43	L'Etrat	3 682
15	Saint-Marcellin-en-Forez-2	1 686,5	44	Saint-Priest-en-Jarez	5 812
16	Sury-le-Comtal-2	2 402,5	45	Villars	8 494
17	Andrézieux-Buthéon	15 094	46	Saint-Genest-Lerpt	5 672
18	Veauce	9 207	47	Roche-La-Molière	10 083
19	Saint-Galmier	11 374	48	Le Chambon-Feugerolles	14 090
20	Saint-Héand	3 722	49	La Ricamarie	8 438
21	La-Fouillouse-1	2 117	50	La-Fouillouse-2	2 117
Total		59 557	Total		262 991
22	Feurs	15 349	51	Monbrison	26 643
23	Rozier-en-Donzy	1 268	52	Saint-Bonnet-le-Courreau	1 009
24	Panissières	4 270	53	Saint-Georges-en-Couozan	1 846
25	Néronde	6 239	54	Sail-sous-Couzan	983
26	Chazelles-sur-Lyon	9 725	55	Saint-Jean-Soleymieux	3 760
27	Montrond-les-Bains-1	5 433	56	Montrond-les-Bains-2	5 433
28	Boën-1	4 848,5	57	Boën-2	4 848,5
29	Saint-Germain-Laval	6 017	58	Saint-Marcellin-en-Forez-1	1 686,5
Total		53 150	59	Sury-le-Comtal-1	2 402,5
			Total		48 612

TABLE C.1 – Population autour des principaux centres urbains dans le département de la Loire. Ensemble de zones J .

j	δ_{j0}	δ_{j1}									
1	48	25	16	2	1	31	3	1	46	5	3
2	3	2	17	14	7	32	3	2	47	10	5
3	1	1	18	9	4	33	9	5	48	13	7
4	5	2	19	11	6	34	4	2	49	8	4
5	7	4	20	4	2	35	5	2	50	2	1
6	6	3	21	2	1	36	4	2	51	25	13
7	13	7	22	15	7	37	172	88	52	1	0
8	3	2	23	1	1	38	8	4	53	2	1
9	2	1	24	4	2	39	3	2	54	1	0
10	7	3	25	6	3	40	3	1	55	4	2
11	7	3	26	9	5	41	4	2	56	5	3
12	10	5	27	5	3	42	6	3	57	5	2
13	1	1	28	5	2	43	4	2	58	2	1
14	13	7	29	6	3	44	6	3	59	2	1
15	2	1	30	36	18	45	8	4			

TABLE C.2 – Exemple de la distribution de la demande en accord avec la population des territoires. Paramètre δ_{jp}

	1	14	22	30	37	51
1	0	59	40	67	63	56
14		0	32	27	23	31
22			0	41	38	30
30				0	21	43
37					0	42
51						0

TABLE C.3 – Distance entre les zones principales.

P	τ_{p0}	τ_{p1}	τ_{p2}	τ_{p3}	τ_{p4}
P_0	2h	1.2h	0.8h	0.6h	0.4h
P_1	1.2h	0.6h	0.6h	0.4h	0.2h

TABLE C.4 – Besoin de ressources. Paramètre τ_{pr}

P	η_{p0}	η_{p1}	η_{p2}	η_{p3}	η_{p4}
P_0	1	1	0	0	0
P_1	1	0	0	1	0

TABLE C.5 – Quantité minimale de ressource pour l'autorisation. Paramètre η_{pr}

	r_0	r_1	r_2	r_3	r_4
q_r	175h	190h	150h	175h	150h
ξ_r	0.05	0.05	0	0	0
a_r	70 010	52 674	87 689	58 675	58 675

TABLE C.6 – Capacité de ressources, pourcentage d'affectation de la distance et coût fixe. Paramètres q_r , ξ_r et a_r

C.2 Choix des activités et la couverture épidémiologique et spatiale d'une structure de SMAD

Pour ce problème on a utilisés pour la plus part, les mêmes paramètres que pour les problèmes de localisation. Pourtant, les besoin en ressource (τ_{rpi}) on été recalculés pour garder la cohérence avec le modèle. Ces paramètres sont présentés dans le Tableau C.7.

	P_0					P_1				
	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4
i_0	0	0.4	0.2	0.1	0	0	0.2	0.2	0.1	0.1
i_1	0.4	0	0.1	0.1	0.2	0	0	0	0	0.1
i_2	1	0.4	0.2	0.1	0	1	0.2	0.1	0.1	0
i_3	0.4	0.4	0.1	0	0	0	0.2	0.1	0	0.1
i_4	0.2	0	0.2	0.3	0.2	0.2	0	0.2	0.2	0.1
$\sum_i \tau_{rpi}$	2h	1.2h	0.8h	0.6h	0.4h	1.2h	0.6h	0.6h	0.4h	0.4h

TABLE C.7 – Besoin de ressources. Paramètre τ_{rpi}

Le Tableau C.9 présente le coût de chaque processus pour les deux pathologies. Ces coûts sont basés sur l'enquête nationale de coûts réalisé en 2010 par l'ATIH et téléchargeable sur leur site web (www.atih.sante.fr) sauf pour le coût de consultation qui a été pris de l'étude [Buthion 2010]. La première et deuxième colonnes représentent les processus dans la modélisation du problème. La suivante montre l'intitulé de la colonne correspondante de l'enquête nationale de coûts.

		R_0	R_1	R_2	R_3	R_4
Charge maximal	q_r	160h	130h	150h	140h	150h
Impact de la distance	ξ_r	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Coût de salaire	a_r	70 01	52 67	87 68	58 67	58 67
Quantité minimal autorisation	η_{0r}	1	1	0	0	0
	η_{1r}	1	0	0	1	0

TABLE C.8 – Valeurs des différents paramètres du plan d'expérience.

Paramètre	Activité	Correspondance	P_0	P_1
I_0	Coordination	Bilan, coordination médicale et sociale des soins	36.9	32.1
I_1	Distribution	Logistique (Dédié au patient, médicale, et gestion générale)	52.9	46.8
I_2	Consultation	NA	23	23
I_3	Soin	Intervenants (domicile + transport) + Charges au domicile du patient	170.3	275.9
I_4	Collecte	Continuité des soins	6.1	7.7

TABLE C.9 – Calcul des coûts variables interne par activité et pathologie. Paramètre b_{ip}

Paramètre	Activité	Correspondance	P_0	P_1
I_0	Coordination	Bilan, coordination médicale et sociale des soins	81.2	70.62
I_1	Distribution	Logistique (Dédié au patient, médicale, et gestion générale)	116.4	102.9
I_2	Consultation	NA	51	51
I_3	Soin	Intervenants (domicile + transport) + Charges au domicile du patient	374.7	607.0
I_4	Collecte	Continuité des soins	13.4	17.0

TABLE C.10 – Calcul des coûts des activité réalisées en externe par pathologie. Paramètre c_{ip}

Bibliographie

- [Al-Sultan 1999] KS Al-Sultan et MA Al-Fawzan. *A tabu search approach to the uncapacitated facility location problem*. Annals of Operations Research, vol. 86, pages 91–103, 1999. (Cité en page 46.)
- [Alp 2003] Osman Alp, Erhan Erkut et Zvi Drezner. *An Efficient Genetic Algorithm for the p -Median Problem*. Annals of Operations Research, vol. 122, pages 21–42, 2003. 10.1023/A :1026130003508. (Cité en page 40.)
- [Anderson 2000] C. Anderson, C. N. Mhurchu, S. Rubenach, M. Clark, C. Spencer et A. Winsor. *Home or hospital for stroke rehabilitation? Results of a randomized controlled trial II : cost minimization analysis at 6 months*. Stroke, vol. 31, no. 5, pages 1032–1037, 2000. (Cité en pages 19, 24, 25, 29 et 31.)
- [Armstrong 2008] C. D Armstrong, W. E Hogg, J. Lemelin, S. Dahrouge, C. Martin, G. S Viner et R. Saginur. *Home-based intermediate care program vs hospitalization : Cost comparison study*. Canadian Family Physician, vol. 54, no. 1, pages 66–73, 2008. (Cité en pages 25, 29 et 30.)
- [ATIH 2011] Agence Technique d’Information sur l’hospitalisation ATIH. Serveur de statistiques en ligne de l’ATIH. Juin 2011. (Cité en pages 2, 8, 11 et 56.)
- [Averbakh 1998] Igor Averbakh, Oded Berman, Zvi Drezner et George O. Wesolowsky. *The plant location problem with demand-dependent setup costs and centralized allocation*. European Journal of Operational Research, vol. 111, no. 3, pages 543–554, Décembre 1998. (Cité en pages 38 et 47.)
- [Aykut Özsoy 2006] F. Aykut Özsoy et Mustafa Ç. Pınar. *An exact algorithm for the capacitated vertex -center problem*. Computers & Operations Research, vol. 33, no. 5, pages 1420–1436, Mai 2006. (Cité en page 38.)
- [Balinski 1963] M. L. Balinski et P. Wolfe. *On Benders decomposition and a plant location problem*. ARO-27, Mathematica,(Princeton, NJ, 1963), 1963. (Cité en page 45.)
- [Balinski 1964] ML Balinski. *On finding integer solutions to linear programs*. Rapport technique, DTIC Document, 1964. (Cité en pages 45 et 124.)
- [Beasley 1987] J.E. Beasley. *An algorithm for set covering problem*. European Journal of Operational Research, vol. 31, no. 1, pages 85–93, Juillet 1987. (Cité en page 42.)
- [Beasley 1990] J. E. Beasley. *A lagrangian heuristic for set-covering problems*. Naval Research Logistics (NRL), vol. 37, no. 1, pages 151–164, 1990. (Cité en page 42.)
- [Beasley 1992] J.E. Beasley et K. Jørnsten. *Enhancing an algorithm for set covering problems*. European Journal of Operational Research, vol. 58, no. 2, pages 293–300, Avril 1992. (Cité en page 42.)

- [Berman 2002] Oded Berman et Dmitry Krass. *The generalized maximal covering location problem*. Computers & Operations Research, vol. 29, no. 6, pages 563–581, Mai 2002. (Cité en page 44.)
- [Bilde 1977] O. Bilde et J. Krarup. *Sharp lower bounds and efficient algorithms for the simple plant location problem*. Annals of Discrete Mathematics, vol. 1, no. 19773, pages 79–97, 1977. (Cité en page 46.)
- [Borras 2001] J. M. Borras, A. Sanchez-Hernandez, M. Navarro, M. Martinez, E. Mendez, J. L. L. Ponton, J. A. Espinas et J. R. Germa. *Compliance, satisfaction, and quality of life of patients with colorectal cancer receiving home chemotherapy or outpatient treatment : a randomised controlled trial*. Bmj, vol. 322, no. 7290, page 826, 2001. (Cité en pages 19, 21, 24, 28 et 30.)
- [Brandeau 1989] Margaret L. Brandeau et Samuel S. Chiu. *An Overview of Representative Problems in Location Research*. Management Science, vol. 35, no. 6, pages 645–674, Juin 1989. ArticleType : research-article / Full publication date : Jun., 1989 / Copyright © 1989 INFORMS. (Cité en page 36.)
- [Brotcorne 2003] L. Brotcorne, G. Laporte et F. Semet. *Ambulance location and relocation models*. European journal of operational research, vol. 147, no. 3, pages 451–463, 2003. (Cité en page 48.)
- [Buthion 2010] V. Buthion, A. Fanidi et T. Lagrange. *La chimiothérapie à domicile : complémentarité ou concurrence dans la stratégie des structures hospitalières*. Rapport technique, 2010. (Cité en pages 119 et 133.)
- [Caprara 1999] A. Caprara, M. Fischetti et P. Toth. *A heuristic method for the set covering problem*. Operations research, pages 730–743, 1999. (Cité en page 42.)
- [Caprara 2000] A. Caprara, P. Toth et M. Fischetti. *Algorithms for the set covering problem*. Annals of Operations Research, vol. 98, no. 1, pages 353–371, 2000. (Cité en page 42.)
- [Carrère 2008] M. O Carrère, Y. Devaux, N. Havet, M. Morelle, R. Remonnay et V. Kante. *Administration des transfusions sanguines à l'hôpital ou à domicile ? Le choix des patients atteints de cancer*. Bulletin du cancer, vol. 95, no. 11, pages 1–7, 2008. (Cité en pages 22, 28 et 30.)
- [Cartoni 2007] C. Cartoni, G. A Brunetti, G. M D'Elia, M. Breccia, P. Niscola, M. G Marini, A. Nastri, G. Alimena, F. Mandelli et R. Foa. *Cost analysis of a domiciliary program of supportive and palliative care for patients with hematologic malignancies*. Haematologica, vol. 92, no. 5, pages 666–673, 2007. (Cité en page 25.)
- [Ceria 1998] S. Ceria, P. Nobili et A. Sassano. *A Lagrangian-based heuristic for large-scale set covering problems*. Mathematical Programming, vol. 81, no. 2, pages 215–228, 1998. (Cité en page 42.)
- [Chanta 2011] S. Chanta, M. E. Mayorga et L. A. McLay. *Improving emergency service in rural areas : a bi-objective covering location model for EMS systems*. Annals of Operations Research, pages 1–27, 2011. (Cité en page 48.)

- [Charles 1997] Cathy Charles, Amiram Gafni et Tim Whelan. *Shared decision-making in the medical encounter : What does it mean ? (Or it takes at least two to tango)*. *Social Science & Medicine*, vol. 44, no. 5, pages 681–692, 1997. (Cité en page 17.)
- [Charles 1999] Kathy Charles, Amiram Gafni et Tim Whelan. *Decision-making in the physician-patient encounter : Revisiting the shared treatment decision-making model*. *Social Science & Medicine*, vol. 49, no. 5, pages 651–661, 1999. (Cité en page 17.)
- [Chataway 2006] J. Chataway, B. Porter, A. Riazi, D. Heaney, H. Watt, J. Hobart et A. Thompson. *Home versus outpatient administration of intravenous steroids for multiple-sclerosis relapses : a randomized controlled trial*. *American Journal of Ophthalmology*, vol. 142, no. 3, pages 565–571, Septembre 2006. (Cité en pages 19, 24, 25, 29 et 30.)
- [Chung 1986] C. H. Chung. *Recent applications of the maximal covering location planning (MCLP) model*. *Journal of the Operational Research Society*, pages 735–746, 1986. (Cité en pages 43 et 45.)
- [Church 1974] R. Church et C.R. VELLE. *The maximal covering location problem*. *Papers in regional science*, vol. 32, no. 1, pages 101–118, 1974. (Cité en pages 43 et 44.)
- [Church 1996] R. L. Church, D. M. Stoms et F. W. Davis. *Reserve selection as a maximal covering location problem*. *Biological conservation*, vol. 76, no. 2, pages 105–112, 1996. (Cité en pages 43 et 45.)
- [Coast 1998] J. Coast, S. H Richards, T. J Peters, D. J Gunnell, M. A Darlow et J. Pounsford. *Hospital at home or acute hospital care ? A cost minimisation analysis*. *British Medical Journal*, vol. 316, no. 7147, page 1802, 1998. (Cité en pages 19, 24, 29 et 31.)
- [Com-Ruelle L. 1993] Raffy N. Com-Ruelle L. *Le fonctionnement des services d'HAD : évolution 1980 - 1992*. *Rapport Credes*, vol. Rapport Credes 958, page 162, 1993. (Cité en page 10.)
- [Conno 1996] F. De Conno, A. Caraceni, L. Groff, C. Brunelli, I. Donati, M. Tamburini et V. Ventafridda. *Effect of home care on the place of death of advanced cancer patients*. *European Journal of Cancer*, vol. 32, no. 7, pages 1142–1147, Juin 1996. (Cité en pages 22, 28 et 30.)
- [Corréa 2009] Francisco de Assis Corrêa, Luiz Antonio Nogueira Lorena et Glaydston Mattos Ribeiro. *A decomposition approach for the probabilistic maximal covering location-allocation problem*. *Computers & Operations Research*, vol. 36, no. 10, pages 2729–2739, Octobre 2009. (Cité en page 44.)
- [Coulter 1999] Angela Coulter. *Paternalism or partnership ?* *BMJ : British Medical Journal*, vol. 319, no. 7212, pages 719–720, Septembre 1999. PMID : 10487980
PMCID : PMC1116580. (Cité en page 17.)

- [Current 2002] J. Current, M. Daskin et D. Schilling. *Discrete Network Location Models*. In *Facility Location : Applications and Theory*. Springer-Verlag, 2002. (Cité en page 36.)
- [Daskin 1995] Mark S. Daskin. *Network and discrete location : models, algorithms, and applications*. Wiley, 1995. (Cité en pages 37 et 38.)
- [Daskin 2005] Mark S. Daskin, Lawrence V. Snyder et Rosemary T. Berger. *Facility Location in Supply Chain Design*. In André Langevin et Diane Riopel, éditeurs, *Logistics Systems : Design and Optimization*, pages 39–65. Springer US, 2005. (Cité en page 36.)
- [Davidović 2011] T. Davidović, D. Ramljak, M. Šelmić et D. Teodorović. *Bee colony optimization for the p-center problem*. *Computers & Operations Research*, vol. 38, no. 10, pages 1367–1376, Octobre 2011. (Cité en page 39.)
- [Davies 1998] Ruth Davies et Paul Roderick. *Planning resources for renal services throughout UK using simulation*. *European Journal of Operational Research*, vol. 105, no. 2, pages 285–295, Mars 1998. (Cité en page 9.)
- [de Haes 2003] H. de Haes et N. Koedoot. *Patient centered decision making in palliative cancer treatment : a world of paradoxes*. *Patient education and counseling*, vol. 50, no. 1, pages 43–49, 2003. (Cité en page 17.)
- [Densham 1992] P. J. Densham et G. Rushton. *A more efficient heuristic for solving large-p-median problems*. *Papers in Regional Science*, vol. 71, no. 3, pages 307–329, 1992. (Cité en page 40.)
- [Eaton 1985] D. J. Eaton, M. S. Daskin, D. Simmons, B. Bulloch et G. Jansma. *Determining emergency medical service vehicle deployment in Austin, Texas*. *Interfaces*, pages 96–108, 1985. (Cité en pages 43, 45 et 48.)
- [Eaton 1986] D. J. Eaton, Hector M Sánchez U et J. Morgan. *Determining ambulance deployment in Santo Domingo, Dominican Republic*. *Journal of the Operational Research Society*, pages 113–126, 1986. (Cité en pages 43 et 45.)
- [Efroymson 1966] MA Efroymson et TL Ray. *A branch-bound algorithm for plant location*. *Operations Research*, pages 361–368, 1966. (Cité en page 46.)
- [Erlenkotter 1978] D. Erlenkotter. *A dual-based procedure for uncapacitated facility location*. *Operations Research*, vol. 26, no. 6, pages 992–1009, 1978. (Cité en page 46.)
- [Farahani 2012] Reza Zanjirani Farahani, Nasrin Asgari, Nooshin Heidari, Mahtab Hosseininia et Mark Goh. *Covering problems in facility location : A review*. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 62, no. 1, pages 368–407, Février 2012. (Cité en page 41.)
- [Fazel Zarandi 2011] M.H. Fazel Zarandi, S. Davari et S.A. Haddad Sisakht. *The large scale maximal covering location problem*. *Scientia Iranica*, vol. 18, no. 6, pages 1564–1570, Décembre 2011. (Cité en page 44.)

- [Fernández 2003] Elena Fernández et Justo Puerto. *Multiobjective solution of the uncapacitated plant location problem*. European Journal of Operational Research, vol. 145, no. 3, pages 509–529, Mars 2003. (Cité en page 47.)
- [Fetter 1976] R. B. Fetter, J. D. Thompson et R. E. Mills. *A system for cost and reimbursement control in hospitals*. The Yale journal of biology and medicine, vol. 49, no. 2, page 123, 1976. (Cité en page 1.)
- [Frick 2009] K. D. Frick, L. Burton, R. Clark, S. L. Mader, B. Naughton, J. Burl, W. B. Greenough III, D. Steinwachs et B. Leff. *Substitutive Hospital at Home for Older Persons : Effects on Costs*. Am J Manag Care, vol. 15, no. 1, pages 49–56, 2009. (Cité en pages 25, 26, 29 et 30.)
- [Galvão 1996] Roberto Diéguez Galvão et Charles ReVelle. *A Lagrangean heuristic for the maximal covering location problem*. European Journal of Operational Research, vol. 88, no. 1, pages 114–123, Janvier 1996. (Cité en page 44.)
- [Galvão 2000] Roberto D. Galvão, Luis Gonzalo Acosta Espejo et Brian Boffey. *A comparison of Lagrangean and surrogate relaxations for the maximal covering location problem*. European Journal of Operational Research, vol. 124, no. 2, pages 377–389, Juillet 2000. (Cité en page 44.)
- [Garey 1979] M. R. Garey et D. S. Johnson. Computers and intractability, volume 174. Freeman San Francisco, CA, 1979. (Cité en pages 38, 42 et 52.)
- [Ghosh 2003] D. Ghosh. *Neighborhood search heuristics for the uncapacitated facility location problem*. European Journal of Operational Research, vol. 150, no. 1, pages 150–162, 2003. (Cité en page 46.)
- [Gonzalez Barcala 2006] F. J. Gonzalez Barcala, A. Pose Reino, J. J. Paz Esquete, R. De la Fuente Cid, L. A. Masa Vazquez, P. Alvarez Calderon et L. Valdes Cuadrado. *Hospital at home for acute respiratory patients*. European Journal of Internal Medicine, vol. 17, no. 6, pages 402–407, 2006. (Cité en pages 22 et 28.)
- [Goodchild 1983] M. F. Goodchild et V. T. Noronha. Location-allocation for small computers. Department of Geography, University of Iowa, 1983. (Cité en page 40.)
- [Goulet 2001] Céline Goulet, Hélène Gévry, Robert J. Gauthier, Linda Lepage, William Fraser et Marilyn Aita. *A controlled clinical trial of home care management versus hospital care management for preterm labour*. International Journal of Nursing Studies, vol. 38, no. 3, pages 259–269, Juin 2001. (Cité en pages 19, 22, 28 et 30.)
- [Guner 2008] Ali R. Guner et Mehmet Sevkli. *A discrete particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem*. J. Artif. Evol. App., vol. 2008, pages 10 :1–10 :9, Janvier 2008. (Cité en page 47.)
- [Hakimi 1964] S. L. Hakimi. *Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph*. Operations Research, pages 450–459, 1964. (Cité en page 36.)

- [Hakimi 1965] S. L. Hakimi. *Optimum distribution of switching centers in a communication network and some related graph theoretic problems*. Operations Research, pages 462–475, 1965. (Cité en pages 36 et 40.)
- [Hamacher 1998] Horst. W Hamacher et Stefan Nickel. *Classification of location models*. Location Science, vol. 6, no. 1-4, pages 229–242, Décembre 1998. (Cité en page 36.)
- [Hansen 1997] P. Hansen et N. Mladenovic. *Variable neighborhood search for the p -median*. Location Science, vol. 5, no. 4, pages 207–226, Décembre 1997. (Cité en page 40.)
- [Hermiz 2002] O. Hermiz, E. Comino, G. Marks, K. Daffurn, S. Wilson et M. Harris. *Randomised controlled trial of home based care of patients with chronic obstructive pulmonary disease*. British Medical Journal, vol. 325, no. 7370, page 938, 2002. (Cité en pages 19, 20, 21, 22 et 28.)
- [Holmberg 1996] K. Holmberg et K. J rnsten. *Dual search procedures for the exact formulation of the simple plant location problem with spatial interaction*. Location Science, vol. 4, no. 1, pages 83–100, 1996. (Cité en page 47.)
- [Holmberg 1997] K. Holmberg et J. Ling. *A Lagrangean heuristic for the facility location problem with staircase costs*. European Journal of Operational Research, vol. 97, no. 1, pages 63–74, 1997. (Cité en page 47.)
- [Holmberg 1999] K. Holmberg. *Exact solution methods for uncapacitated location problems with convex transportation costs*. European Journal of Operational Research, vol. 114, no. 1, pages 127–140, Avril 1999. (Cité en page 47.)
- [Jester 2003] Rebecca Jester. *Early discharge to hospital at home : should it be a matter of choice ?* Journal of Orthopaedic Nursing, vol. 7, no. 2, pages 64–69, Mai 2003. (Cité en pages 28 et 31.)
- [Jia 2007] Hongzhong Jia, Fernando Ord nez et Maged M. Dessouky. *Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies*. Computers & Industrial Engineering, vol. 52, no. 2, pages 257–276, Mars 2007. (Cité en page 48.)
- [Kariv 1979] O. Kariv et S. L. Hakimi. *An algorithmic approach to network location problems. II : The p -medians*. SIAM Journal on Applied Mathematics, pages 539–560, 1979. (Cité en pages 38 et 40.)
- [Kim 2010] Dong-Guen Kim et Yeong-Dae Kim. *A branch and bound algorithm for determining locations of long-term care facilities*. European Journal of Operational Research, vol. 206, no. 1, pages 168–177, Octobre 2010. (Cité en page 48.)
- [Krarup 1983] J. Krarup et P.M. Pruzan. *The simple plant location problem : survey and synthesis*. European Journal of Operational Research, vol. 12, no. 1, pages 36–81, 1983. (Cité en page 45.)
- [Kuehn 1963] A. A. Kuehn et M. J. Hamburger. *A heuristic program for locating warehouses*. Management science, pages 643–666, 1963. (Cité en pages 40, 45 et 46.)

- [Labbé 1995] Martine Labbé, Dominique Peeters et Jacques-François Thisse. *Chapter 7 Location on networks*. In C.L. Monma M.O. Ball T.L. Magnanti et G.L. Nemhauser, editeurs, Network Routing, volume 8 of *Handbooks in Operations Research and Management Science*, pages 551 – 624. Elsevier, 1995. (Cité en pages 36 et 45.)
- [Lataste 1997] M. Lataste. *Le projet d'hospitalisation a domicile : application a l'Aquitaine*. BULLETIN-SOCIETE DE PHARMACIE DE BORDEAUX, vol. 136, pages 99–140, 1997. (Cité en pages 8, 9 et 10.)
- [Launois 1996] R. Launois et G. Perrocheau. *Chimiothérapie ambulatoire : Les enjeux économiques*. Bull Cancer, vol. 83, no. 12 Suppl, pages 974–976, 1996. (Cité en pages 26, 29 et 30.)
- [Leff 2005] B. Leff, L. Burton, S. L Mader, B. Naughton, J. Burl, S. K Inouye, W. B Greenough III, S. Guido, C. Langston, K. D Fricket *al.* *Hospital at home : feasibility and outcomes of a program to provide hospital-level care at home for acutely ill older patients*. Annals of internal medicine, vol. 143, no. 11, pages 798–809, 2005. (Cité en pages 20, 21, 24, 29 et 30.)
- [Manne 1964] A. S. Manne. *Plant location under economies-of-scale-decentralization and computation*. Management Science, pages 213–235, 1964. (Cité en page 45.)
- [Maranzana 1964] F. E. Maranzana. *On the location of supply points to minimize transport costs*. OR, pages 261–270, 1964. (Cité en page 40.)
- [Marianov 2001] V. Marianov et D. Serra. *Location Problems in the Public Sector*. In Facility Location : Applications and Theory, pages 119–143. Springer-Verlag, z. drezner & H.W. hamacher édition, 2001. (Cité en page 48.)
- [Mirchandani 1990] P. B. Mirchandani et R. L. Francis. Discrete location theory, volume 23. Wiley-Interscience, 1990. (Cité en pages 36 et 38.)
- [Moumjid-Ferdjaoui 2000] Carrère M. Moumjid-Ferdjaoui N. *La démocratie sanitaire : la relation médecin patient, l'information et la participation de patients à la décision médicale : les enseignements de la littérature internationale*. Revue Française des Affaires Sociales, vol. 2, pages 73–88, 2000. (Cité en page 17.)
- [Moumjid 2009] Protiere C. Morelle M. Bremond A. Mignotte H. Faure C. Meunier A. Moumjid N. et M. Carrère. *Shared decision-making in the physician-patient encounter. Recent evolution and state of art in breast cancer in France*. Journal d'économie médicale, vol. 3, pages 134–145, 2009. (Cité en page 17.)
- [Oterino-de-la Fuente 1998] D. Oterino-de-la Fuente, S. Peiro, M. Ridao et C. Marchan. *Variations in diagnostic and therapeutic intensity between home and conventional hospitalization*. International Journal for Quality in Health Care, vol. 10, no. 4, pages 331–338, 1998. (Cité en pages 24, 26 et 29.)
- [Reid 2005] P. P Reid. Building a better delivery system : a new engineering/health care partnership. National Academy Press, 2005. (Cité en pages 1 et 17.)

- [Remonnay 2005] R. Remonnay, Y. Devaux, G. Chvetzoff, M. Morelle et O. Carrère Marie. *Cancer treatment at home or in the hospital : what are the costs for French public health insurance ? : Findings of a comprehensive-cancer centre.* Health Policy, vol. 72, no. 2, pages 141–148, Mai 2005. (Cité en pages 22, 25, 29 et 30.)
- [Resende 2006] Mauricio G.C. Resende et Renato F. Werneck. *A hybrid multistart heuristic for the uncapacitated facility location problem.* European Journal of Operational Research, vol. 174, no. 1, pages 54–68, Octobre 2006. (Cité en page 47.)
- [ReVelle 2008a] Charles ReVelle, Michelle Scholssberg et Justin Williams. *Solving the maximal covering location problem with heuristic concentration.* Computers & Operations Research, vol. 35, no. 2, pages 427–435, Février 2008. (Cité en page 44.)
- [ReVelle 2008b] C.S. ReVelle, H.A. Eiselt et M.S. Daskin. *A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science.* European Journal of Operational Research, vol. 184, no. 3, pages 817 – 848, 2008. (Cité en page 36.)
- [Richards 1998] S. H Richards, J. Coast, D. J Gunnell, T. J Peters, J. Pounsford et M. A Darlow. *Randomised controlled trial comparing effectiveness and acceptability of an early discharge, hospital at home scheme with acute hospital care.* British Medical Journal, vol. 316, no. 7147, page 1796, 1998. (Cité en pages 19, 20, 21, 22, 28 et 31.)
- [Rischin 2000] D. Rischin, M. A White, J. P Matthews, G. C Toner, K. Watty, A. J Sulkowski, J. L Clarke et L. Buchanan. *A randomised crossover trial of chemotherapy in the home : patient preferences and cost analysis.* Medical Journal of Australia, vol. 173, no. 3, pages 125–127, 2000. (Cité en pages 22, 26 et 29.)
- [Rodriguez-Cerrillo 2009] M. Rodriguez-Cerrillo, A. Alvarez-Arcaya, E. Fernández-Díaz et A. Fernández-Cruz. *A prospective study of the management of non-massive pulmonary embolism in the home.* European Journal of Internal Medicine, vol. 20, no. 6, pages 598–600, 2009. (Cité en pages 19, 28 et 30.)
- [Rolland 1997] Erik Rolland, David A. Schilling et John R. Current. *An efficient tabu search procedure for the p-Median Problem.* European Journal of Operational Research, vol. 96, no. 2, pages 329–342, Janvier 1997. (Cité en page 40.)
- [Schilling 1993] D. A. Schilling, V. Jayaraman et R. Barkhi. *A Review of covering problems in Facility Location.* Computers & Operations Research, 1993. (Cité en page 41.)
- [Senne 2005] Edson L.F. Senne, Luiz A.N. Lorena et Marcos A. Pereira. *A branch-and-price approach to p-median location problems.* Computers & Operations Research, vol. 32, no. 6, pages 1655–1664, Juin 2005. (Cité en page 40.)

- [Shepperd 1998a] S. Shepperd, D. Harwood, A. Gray, M. Vessey et P. Morgan. *Randomised controlled trial comparing hospital at home care with inpatient hospital care. II : cost minimisation analysis*. British Medical Journal, vol. 316, no. 7147, page 1791, 1998. (Cité en pages 19, 28 et 31.)
- [Shepperd 1998b] S. Shepperd et S. Iliffe. *The effectiveness of hospital at home compared with in-patient hospital care : a systematic review*. Journal of Public Health, vol. 20, no. 3, page 344, 1998. (Cité en pages 19, 20, 22, 25, 26 et 29.)
- [Shepperd 2009] S. Shepperd, H. Doll, R. M Angus, M. J Clarke, S. Iliffe, L. Kalra, N. A Ricauda, V. Tibaldi et A. D Wilson. *Avoiding hospital admission through provision of hospital care at home : a systematic review and meta-analysis of individual patient data*. Canadian Medical Association Journal, vol. 180, no. 2, pages 175–180, 2009. (Cité en pages 19, 20, 28 et 30.)
- [Stollsteimer 1961] J. F. Stollsteimer. *The effect of technical change and output expansion on the optimum number, size, and location of pear marketing facilities in a California pear producing region*. PhD thesis, University of California, Berkeley, 1961. (Cité en page 45.)
- [Stollsteimer 1963] J. F. Stollsteimer. *A working model for plant numbers and locations*. Journal of Farm Economics, vol. 45, no. 3, pages 631–645, 1963. (Cité en page 45.)
- [Sun 2006] M. Sun. *Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search*. Computers & Operations Research, vol. 33, no. 9, pages 2563–2589, Septembre 2006. (Cité en page 46.)
- [Suzuki 1996] Atsuo Suzuki et Zvi Drezner. *The p-center location problem in an area*. Location Science, vol. 4, no. 1-2, pages 69–82, Mai 1996. (Cité en page 38.)
- [Syam 2010] Siddhartha S. Syam et Murray J. Côté. *A location-allocation model for service providers with application to not-for-profit health care organizations*. Omega, vol. 38, no. 3-4, pages 157–166, Juin 2010. (Cité en page 48.)
- [Takezako 2007] Yayoi Takezako, Nanako Tamiya et Eiji Kajii. *The nursing home versus the hospital as the place of dying for nursing home residents in Japan*. Health Policy, vol. 81, no. 2-3, pages 280–288, Mai 2007. (Cité en pages 23, 28 et 31.)
- [Tansel 1983] B. C. Tansel, R. L. Francis et T. J. Lowe. *Location on networks : a survey. Part I : the p-center and p-median problems*. Management Science, pages 482–497, 1983. (Cité en page 38.)
- [Tarricone 2008] R. Tarricone et A. D. Tsouros. *Home care in Europe : the solid facts*. World Health Organization, Europe, pages 1–36, 2008. (Cité en page 7.)
- [Taylor 2007a] R. S. Taylor, A. Watt, H. M. Dalal, P. H. Evans, J. L. Campbell, K. L. Q. Read, A. J. Mourant, J. Wingham, D. R. Thompson et D. J. Pereira Gray. *Home-based cardiac rehabilitation versus hospital-based rehabilitation :*

- a cost effectiveness analysis*. International journal of cardiology, vol. 119, no. 2, pages 196–201, 2007. (Cité en pages 21 et 29.)
- [Taylor 2007b] S. Taylor, S. Eldridge, Y M Chang, R. Sohanpal et A. Clarke. *Evaluating hospital at home and early discharge schemes for patients with an acute exacerbation of COPD*. Chronic Respiratory Disease, vol. 4, no. 1, pages 33–43, 2007. PMID : 17416151. (Cité en pages 19, 25 et 31.)
- [Teitz 1968] M. B. Teitz et P. Bart. *Heuristic methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph*. Operations research, pages 955–961, 1968. (Cité en pages 40 et 44.)
- [Tibaldi 2004] V. Tibaldi, N. Aimonino, M. Ponzetto, M. F. Stasi, D. Amati, S. Raspo, D. Roglia, M. Molaschi et F. Fabris. *A randomized controlled trial of a home hospital intervention for frail elderly demented patients : behavioral disturbances and caregiver ?s stress*. Archives of Gerontology and Geriatrics, vol. 38, pages 431–436, 2004. (Cité en pages 19, 20, 28 et 30.)
- [Tibaldi 2009] Vittoria Tibaldi, Gianluca Isaia, Carla Scarafiotti, Federico Gariglio, Mauro Zanolchi, Mario Bo, Serena Bergerone et Nicoletta Aimonino Riccauda. *Hospital at home for elderly patients with acute decompensation of chronic heart failure : a prospective randomized controlled trial*. Archives of Internal Medicine, vol. 169, no. 17, pages 1569–1575, Septembre 2009. PMID : 19786675. (Cité en page 23.)
- [Toregas 1971] C. Toregas, R. Swain, C. ReVelle et L. Bergman. *The location of emergency service facilities*. Operations Research, pages 1363–1373, 1971. (Cité en pages 42 et 48.)
- [Vergnenègre 2006] A. Vergnenègre, C. Decroisette, F. Vincent, F. Dalmay, B. Melloni, F. Bonnaud et B. Eichler. *Analyse économique de l’administration d’une chimiothérapie en hospitalisation à domicile (HAD) comparée à l’hospitalisation de jour dans les cancers bronchopulmonaires non à petites cellules de stade IV*. Revue des Maladies Respiratoires, vol. 23, no. 3, pages 255–263, Juin 2006. (Cité en pages 25, 29 et 30.)
- [Zerbib 1990] E. Zerbib. *Les alternatives à l’hospitalisation : intérêts et perspectives pour le pharmacien*. PhD thesis, 1990. (Cité en page 9.)

NNT : 2013 EMSE 0683

Carlos RODRIGUEZ VERJAN

DESIGN OF HEALTHCARE AT HOME STRUCTURES

Speciality : Industrial Engineering

Keywords : Healthcare at Home, Facility Location, Stochastic optimization.

Abstract :

The issue of access to healthcare is crucial in our modern society. One obvious effect of the augmentation of healthcare services demand is the increasing occupancy rates in hospitals. The main difference between the provision of care at the hospital and at home is as follows: the patient is at hospital and all the resources necessary for its treatment are in the same place, while in the care delivered at home, resources must be moved to the bedside. There are several challenges in order to achieve this change. In this thesis we address three important issues in the design of structures of home care. First, the location of structures minimizing logistics costs, where we develop three models with different features such as traveling costs of resources, changes in demand over time and evolution of freelance resources. These models allow us to provide robust location over time while ensuring maximum coverage and minimizing costs. The second issue is the choice of activities, epidemiological and spatial coverage, taking into account different types of activities and resources, permissions to serve some pathologies and coverage. Two models developed allow us to show the effects on the demand allocation and resources planning induced by changes in the costs of freelance professionals and authorization to serve some pathologies. The third problem is the dimensioning of resources with demand uncertainty (volume, epidemiological and geographical) and the proposed model takes into account the underlying problem of moving resources using an estimate of the routes performed.

NNT : 2013 EMSE 0683

Carlos RODRIGUEZ VERJAN

CONCEPTION DES STRUCTURES DE SOINS A DOMICILE

Spécialité: Génie Industriel

Mots clefs : Soins à domicile, Localisation d'installations, Optimisation stochastique

Résumé :

La question de l'accès au soin est cruciale dans notre société moderne. Un effet évident de la demande accrue de services de santé est l'augmentation du taux d'occupation dans les hôpitaux. La principale différence entre la dispensation de soins à l'hôpital et au domicile est la suivante: le patient doit se déplacer et toutes les ressources nécessaires à son traitement se trouvent dans le même endroit, tandis que dans les soins délivrés au domicile, les ressources doivent être déplacées au chevet du patient. Il existe plusieurs défis afin de pouvoir réaliser ce changement. Dans cette thèse nous traitons trois problèmes importants dans la conception des structures de soins à domicile. D'abord, la localisation des structures en minimisant les coûts logistiques, où nous développons trois modèles incluant différentes caractéristiques comme du système de santé comme les coûts liés aux déplacements des ressources, la variation de la demande dans le temps et l'existence et évolution des ressources libérales. Ces modèles nous permettent de proposer des localisations robustes dans le temps tout en assurant une couverture maximale et en minimisant les coûts. La deuxième problématique consiste au choix des activités et couverture épidémiologique et spatiale en tenant compte différentes activités et types de ressources, les autorisations pour réaliser les pathologies et la couverture. Deux modèles développés nous ont permis montrer les effets sur l'affectation de la demande et le dimensionnement de ressources induits par changements dans les coûts des libéraux, salaires et d'autorisation de servir la demande. Le troisième problème est celui du dimensionnement de ressources avec incertitudes de demande (volume, épidémiologique et géographique) et le modèle proposé tient compte du problème sous-jacent de déplacement des ressources à l'aide d'une estimation de la tournée réalisée.