



Titre: Affectation des infirmières aux salles de l'unité d'endoscopie digestive du Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke
Title:

Auteur: Mélisende Brazeau
Author:

Date: 2013

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Brazeau, M. (2013). Affectation des infirmières aux salles de l'unité d'endoscopie digestive du Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/1086/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/1086/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Alain Hertz, & Charles Audet
Advisors:

Programme: Mathématiques appliquées
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

AFFECTATION DES INFIRMIÈRES AUX SALLES DE L'UNITÉ D'ENDOSCOPIE
DIGESTIVE DU CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE DE SHERBROOKE

MÉLISENDE BRAZEAU
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES)
AVRIL 2013

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

AFFECTATION DES INFIRMIÈRES AUX SALLES DE L'UNITÉ D'ENDOSCOPIE
DIGESTIVE DU CENTRE HOSPITALIER UNIVERSITAIRE DE SHERBROOKE

présenté par : BRAZEAU Mélisende

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. DESAULNIERS Guy, Ph.D., président

M. HERTZ Alain, Doct. ès Sc., membre et directeur de recherche

M. AUDET Charles, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

Mme LAHRICHI Nadia, Ph.D., membre

À mes parents.

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier Louise Angers, l'assistante infirmière-chef au sein de l'unité d'endoscopie digestive et responsable de la création des horaires, qui a répondu à mes nombreuses questions. Tu as accepté de te lancer dans cette aventure et de me faire découvrir ton milieu de travail et son fonctionnement. Grâce à ce projet, je conçois maintenant mieux à quel point la recherche opérationnelle permet de faire le lien entre la réalité et les mathématiques.

Je tiens à souligner la disponibilité et le soutien de mes directeurs de recherche, Alain Hertz et Charles Audet, et ce, tout au long de ma maîtrise et de la rédaction de mon mémoire. J'ai eu la chance d'avoir des directeurs passionnés, pédagogues et organisés et je vous en suis très reconnaissante. Il y a des moments où j'ai douté de ma capacité à terminer une maîtrise en mathématiques appliquées. Charles, tu as eu les mots d'encouragements qui m'ont permis de persévérer. Je souhaite aussi remercier tous les professeurs qui m'ont enseigné à l'École Polytechnique, plus particulièrement Nadia Lahrichi qui m'a initiée aux applications de la recherche opérationnelle dans le domaine de la santé.

Je tiens à remercier mes collègues du GERAD pour l'ambiance conviviale et l'esprit de collaboration qui régnaient au bureau et plus particulièrement Marilène Cherkesly qui a été une véritable coéquipière dès le début de ma maîtrise. Tu feras une excellente professeure en recherche opérationnelle! Je souhaite également remercier Mehdi Towhidi pour m'avoir permis d'utiliser CyLP et pour sa contribution informatique dans le cadre de ce projet. Il m'a également initiée au langage de programmation Python, a répondu à toutes mes questions concernant les différentes possibilités qu'offre CyLP et m'a permis de pratiquer mon anglais!

Finalement, je souhaite remercier le Fonds de recherche du Québec - Nature et technologies pour la bourse de maîtrise en recherche que j'ai reçue.

RÉSUMÉ

La confection des horaires du personnel infirmier en milieu hospitalier est une tâche complexe qui est encore bien souvent réalisée à la main. Au sein de l'unité d'endoscopie digestive du Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke, l'assistante infirmière-chef (AIC) doit affecter les infirmières aux différentes salles pour réaliser un horaire mensuel, ce qui nécessite beaucoup de temps et n'assure pas nécessairement le meilleur horaire possible.

Pour résoudre ce problème d'affectation des infirmières, un modèle mathématique en nombres entiers est développé. Chaque mois, les données nécessaires au modèle sont recueillies, comme la disponibilité des infirmières et l'affectation des médecins aux salles. Une nouvelle instance du problème est ainsi créée et résolue à l'aide d'un solveur gratuit, le COIN Branch and Cut (CBC).

Le modèle utilise des variables de décision booléennes à trois indices qui permettent de décider si l'infirmière est affectée à une salle à chaque période de temps. Il tient compte de toutes les contraintes qui doivent être considérées par l'AIC. Certaines de ces contraintes sont dures parce qu'il est impératif qu'elles soient respectées, comme l'affectation d'une infirmière à une salle où il y a un médecin. D'autres contraintes souples représentent des situations à favoriser ou à éviter. Selon leur importance relative, chacune de ces situations est pondérée dans la fonction objectif.

Le modèle a été testé *a posteriori* sur quatre instances du problème afin de générer des horaires optimaux et de les comparer à ceux créés à la main. L'objectif de ce projet étant que le programme développé soit utilisé par l'AIC, la confection manuelle d'horaires est remplacée par une méthode plus rapide, facile d'utilisation et exacte selon les critères qu'elle a définis.

ABSTRACT

Nurse scheduling is a complex task that is still often done by hand. In the endoscopy unit at the Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke, the assistant head nurse (AHN) must assign each nurse to a specific room in order to make a monthly schedule. This task is time consuming and does not ensure the best possible schedule.

To solve this assignment problem, a mixed integer programming model was developed. Each month, the data required for the model are collected, such as nurses' availability and doctors' room assignment. A new instance of the problem is therefore created and solved with a free solver, the COIN Branch and Cut (CBC).

The model involves boolean decision variables with three indices in order to decide if a nurse is assigned to a room at each period of time. It also takes into account all the constraints that have to be considered by the AHN. Some of these constraints are hard, such as the assignment of a nurse to a room where a doctor is working, and they must be respected. Other soft constraints are used to encourage or avoid some situations. According to their relative importance, each of these situations is weighted in the objective function.

The model was tested *a posteriori* on four instances of the problem in order to generate optimal schedules that can be compared to the schedules done by hand. The purpose of this project is to develop a program that will be used by the AHN to replace the manual method. The program will provide a faster and user friendly method that will give an optimal schedule in terms of the criteria defined by the AHN.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vi
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES TABLEAUX	x
LISTE DES SIGLES ET NOTATION	xi
LISTE DES ANNEXES	xiv
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	4
2.1 Affectation de quarts de travail au personnel infirmier	5
2.2 Affectation de tâches	7
CHAPITRE 3 DÉFINITION DU PROBLÈME	9
3.1 Caractéristiques des infirmières	9
3.1.1 Disponibilité des infirmières	9
3.1.2 Poste	10
3.1.3 Expertise	10
3.1.4 Horaire de garde	10
3.1.5 Ancienneté	11
3.1.6 Historique	11
3.1.7 Intégration	11
3.2 Caractéristiques du travail	11
3.2.1 Horaire des médecins	11
3.2.2 Journées complètes	12
3.2.3 Salles spécialisées	12
3.3 Objectifs à optimiser	14

CHAPITRE 4	MODÈLE PROPOSÉ	16
4.1	Notation	16
4.1.1	Infirmières	16
4.1.2	Salles	16
4.1.3	Périodes de temps	17
4.1.4	Médecins	18
4.2	Paramètres	19
4.3	Variables principales	19
4.4	Contraintes dures	19
4.4.1	Affectation	19
4.4.2	Disponibilité	20
4.4.3	Temps de travail minimum	20
4.4.4	Équipe infirmière-médecin	21
4.4.5	Récupération	21
4.4.6	Spécialisations	21
4.4.7	Journées complètes obligatoires	23
4.4.8	Infirmière fictive	25
4.4.9	Intégration en binôme	25
4.4.10	Intégration en clinique	26
4.5	Contraintes souples	26
4.5.1	Journées complètes	26
4.5.2	Garde à Fleurimont	27
4.5.3	Nouvelles infirmières	28
4.6	Contraintes reliées au SGB	29
4.7	Fonction objectif	31
4.7.1	Situations à favoriser	31
4.7.2	Situations à éviter	32
4.7.3	Situations à favoriser lors de l'intégration	34
CHAPITRE 5	RÉSULTATS NUMÉRIQUES	36
5.1	Résultats préliminaires	36
5.1.1	Horaire d'un mois typique	36
5.1.2	Horaires pour quatre instances	42
5.2	Résultats lors de l'utilisation réelle	44

CHAPITRE 6 CONCLUSION	46
6.1 Synthèse des travaux	46
6.2 Limitations de la solution proposée	46
6.3 Améliorations futures	47
RÉFÉRENCES	49
ANNEXES	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Grille horaire à compléter	2
Tableau 3.1	Exemple d'horaire des médecins	12
Tableau 3.2	Journées complètes obligatoires (en gris)	12
Tableau 3.3	Deux patrons en SGB	13
Tableau 4.1	Notation pour les infirmières	17
Tableau 4.2	Notation pour les salles	18
Tableau 4.3	Notation pour les périodes et les jours	18
Tableau 4.4	Notation pour les médecins	18
Tableau 5.1	Nombre de variables	37
Tableau 5.2	Nombre de contraintes dures	38
Tableau 5.3	Nombre de contraintes souples	38
Tableau 5.4	Nombre de contraintes reliées au SGB	39
Tableau 5.5	Poids dans la fonction objectif	40
Tableau 5.6	Comparaison des méthodes	42
Tableau 5.7	Synthèse des quatre instances	43
Tableau 5.8	Synthèse des instances réelles	45

LISTE DES SIGLES ET NOTATION

Sigles

AIC	Assistante infirmière-chef
EBUS	<i>Endo Bronchial Ultra Sound</i>
ERCP	<i>Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatographyn</i>
SGB	Salles de garde de Bowen (salles 2 et 3)
UED	Unité d'endoscopie digestive

Notation utilisée pour la modélisation

Infirmières	
I	Ensemble des infirmières
TC	Sous-ensemble des infirmières à temps complet
TP	Sous-ensemble des infirmières à temps partiel
TPJ	Sous-ensemble des infirmières à temps partiel qui doivent faire des journées complètes
$TPDJ$	Sous-ensemble des infirmières à temps partiel qui peuvent faire des demi-journées
EV	Sous-ensemble des infirmières de l'équipe volante
IR	Sous-ensemble des infirmières réelles
IN	Sous-ensemble des infirmières considérées comme nouvelles
II	Sous-ensemble des infirmières intégratrices
IS^{ercp}	Sous-ensemble des infirmières spécialisées en ERCP
IS^{echo}	Sous-ensemble des infirmières spécialisées en écho-endo
IS^{bron}	Sous-ensemble des infirmières spécialisées en broncho
IS^{ebus}	Sous-ensemble des infirmières spécialisées en EBUS
IG	Sous-ensemble des infirmières pour lesquelles la gastro est favorisée
IP	Sous-ensemble des infirmières pour lesquelles l'ERCP est favorisé
i_r	Infirmière qui est toujours dans la salle de récupération lorsqu'elle travaille
i_s	Infirmière qui est favorisée en surplus
i_f	Infirmière fictive
i_t	Infirmière en intégration

Salles

S	Ensemble des salles
SC	Sous-ensemble des salles utilisées pour les cliniques
SP	Sous-ensemble des salles où il y a des spécialisations
s_2	Salle de garde 2 de Bowen
s_3	Salle de garde 3 de Bowen
s_5	Salle d'écho-endo
s_r	Salle de récupération
s_g	Salle de garde de Fleurimont
s_b	Salle de broncho
s_f	Salle fictive pour l'EBUS et l'ERCP
s_s	Salle fictive pour les surplus

Périodes

P	Ensemble des périodes $p = \{1, 2, 3, \dots, 40\}$
W_η	Sous-ensemble des périodes de la semaine $\eta = \{1, 2, 3, 4\}$
$P_{s_3}^{ercp}$	Sous-ensemble des périodes où il y a du ERCP dans la salle 3 (le lundi, mercredi, jeudi et vendredi en PM)
P^{bron}	Sous-ensemble des périodes où il y a de la broncho (du lundi au jeudi en AM)
W_η^{bron}	Sous-ensemble des périodes de la semaine $\eta = \{1, 2, 3, 4\}$ où il y a de la broncho
P^{ebus}	Sous-ensemble des périodes où il y a du EBUS
W_η^{ebus}	Sous-ensemble des périodes de la semaine $\eta = \{1, 2, 3, 4\}$ où il y a du EBUS

Jours

J	Ensemble des jours $j = \{1, 2, 3, \dots, 20\}$
J^{ebus}	Sous-ensemble des jours où il y a du EBUS

Médecins

M	Ensemble des médecins
MP	Sous-ensemble des médecins particuliers
MG	Sous-ensemble des médecins gastro-entérologues
MC	Sous-ensemble des médecins chirurgiens
m_f	Médecin fictif

Paramètres

Anc_i	= nombre d'années d'ancienneté de l'infirmière $i \in I$
$\overline{Anc}$	= nombre d'années d'ancienneté de l'infirmière la plus ancienne
T_i^{1-2}	= nombre minimal de pér. que l'inf. $i \in TP$ doit travailler sur les 2 premières sem.
T_i^{3-4}	= nombre minimal de pér. que l'inf. $i \in TP$ doit travailler sur les 2 dernières sem.
F_η	= statut de l'infirmière en intégration i_t à la semaine η
D_{ip}	= $\begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \in I \text{ est disponible à la période } p \in P \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
G_{ip}	= $\begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \in TC \cup TP \text{ est de garde à la période } p \in P \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
E_{im}	= $\begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \in I \text{ peut être en équipe avec le médecin } m \in M \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
A_{msp}	= $\begin{cases} 1 & \text{si le médecin } m \in M \text{ est affecté à la salle } s \in S \text{ à la période } p \in P \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
H_i^{echo}	= nombre de fois que l'inf. $i \in IS^{echo}$ était en écho-endo les 3 mois précédents
H_i^{ebus}	= nombre de fois que l'inf. $i \in IS^{ebus}$ était en EBUS les 3 mois précédents
H_{im}	= nombre de fois que l'inf. $i \in IS^{ercp}$ était avec le méd. $m \in MP$ les 3 mois précédents
H_i^{SGBs}	= $\begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \in IS^{ercp} \text{ était en SGB la semaine précédente} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
H_i^{SGBm}	= $\begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \in IS^{ercp} \text{ était une fois en SGB le mois précédent} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A	EXEMPLE DE RAPPORT D'HORAIRE	51
ANNEXE B	EXEMPLE D'HORAIRE DE GARDE	52
ANNEXE C	EXEMPLE D'HORAIRE GÉNÉRÉ PAR LE PROGRAMME	53

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Au sein de l'unité d'endoscopie digestive (UED) du Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke (CHUS), l'horaire mensuel des infirmières est entièrement fait à la main. Il nécessite beaucoup de temps de la part de l'assistante infirmière-chef (AIC) en charge de différentes tâches administratives. En effet, la création de l'horaire est une tâche complexe qui doit tenir compte de différents objectifs parfois contradictoires. En raison des pénuries de personnel actuelles, il est notamment important de maintenir un équilibre de la perception de charge de travail tout en assurant un service de qualité. De plus, les coûts reliés aux salaires du personnel infirmier représentent une part importante des dépenses en milieu hospitalier, il est donc primordial de les minimiser dans un contexte de restriction budgétaire, et ce, en évitant le plus possible les surplus de personnel (Bouarab *et al.*, 2011).

Le travail de l'AIC consiste plus précisément à affecter les infirmières aux différentes salles pour chaque période de temps. Dans ce projet, un mois est défini par quatre semaines de travail débutant le lundi. Le tableau 1.1 présente la grille hebdomadaire qui doit être complétée quatre fois pour obtenir l'horaire mensuel. Il y a actuellement onze salles au total dont neuf sont situées à l'édifice Bowen et deux à Fleurimont. Chaque journée est divisée en deux, soit l'avant-midi et l'après-midi. L'infirmière peut ainsi changer de salle en mi-journée. Certaines de ces salles sont spécialisées, c'est-à-dire que seulement les infirmières qui ont les qualifications nécessaires pourront y travailler. Les infirmières se différencient par leur expertise, mais également par leur poste, selon si elles travaillent à temps complet, à temps partiel ou si elles font partie de l'équipe volante. D'autres facteurs doivent également être considérés lors de la création de l'horaire, comme la disponibilité du personnel et l'affectation des médecins aux salles.

L'objectif visé par ce projet est de développer un programme qui sera utilisé par l'AIC pour l'affectation des infirmières. Ce programme permet de lire les données nécessaires au modèle qui seront saisies chaque mois par l'AIC. En fonction de ces données, le programme crée un modèle de programmation en nombres entiers qui est ensuite résolu avec le solveur COIN Branch and Cut (CBC). Selon la solution trouvée, le programme génère un fichier qui présente l'horaire mensuel avec les noms des infirmières et des médecins dans les salles où ils sont affectés.

Tableau 1.1 Grille horaire à compléter

	Bowen										Fleurimont	
	Salle 1	Salle 2	Salle 3	Salle 4	Salle 5	Salle 6	Salle 7	Salle 8	Récup	Garde	Broncho	
Lundi	AM											
	PM											
Mardi	AM											
	PM											
Mercredi	AM											
	PM											
Jeudi	AM											
	PM											
Vendredi	AM											
	PM											

Ce mémoire est structuré de la façon suivante. Le deuxième chapitre présente une brève revue de la littérature en lien avec la confection d'horaires, plus particulièrement pour l'affectation de quarts de travail ou de tâches. L'objectif de ce projet étant de développer un outil facile d'utilisation afin que l'AIC puisse créer son horaire mensuel, il faut d'abord définir le problème auquel elle fait face lorsqu'elle fait l'horaire, ce dont traite le troisième chapitre. Le chapitre suivant propose un modèle de programmation mathématique en nombres entiers respectant les différents aspects présentés dans la définition du problème. Finalement, le dernier chapitre présente les résultats du programme développé et implanté au sein de l'UED.

CHAPITRE 2

REVUE DE LITTÉRATURE

La confection d’horaires est un domaine largement étudié en recherche opérationnelle depuis plusieurs décennies. D’ailleurs, il est maintenant connu qu’un calendrier bien planifié a un impact positif sur la qualité des soins prodigués par les infirmiers (Oldenkamp, 1996). Il est donc primordial que cette tâche soit faite avec attention.

Dès le début des années 1970, des études se sont intéressées à la question de la dotation en personnel et plus particulièrement aux différents processus décisionnels qui y sont reliés. Trois niveaux décisionnels sont définis : les politiques de l’organisation, la planification du personnel (comme l’embauche) et la création des horaires à court terme (Abernathy *et al.*, 1973). Cette catégorisation du processus décisionnel est récurrente dans la littérature et fort utile, car les décisions stratégiques à long terme ne peuvent pas être analysées et résolues de la même façon que les décisions quotidiennes. Le présent projet se situe d’ailleurs à un niveau décisionnel qui se compare à celui de la création des horaires à court terme. Dans la littérature, ce niveau de décision équivaut généralement à affecter des quarts de travail aux infirmières chaque jour.

Différentes méthodes sont utilisées lors de la création d’horaires pour le personnel et peuvent être classifiées en différents modules allant de l’évaluation de la demande jusqu’à l’affectation du personnel à des quarts de travail (Ernst *et al.*, 2004). Le problème plus spécifique d’affectation de tâches surgit souvent quand les employés connaissent déjà leur quart de travail, mais ne savent pas encore quelle(s) tâche(s) effectuer. Il existe plusieurs applications industrielles de ces méthodes, notamment dans le milieu de la santé, mais il reste toujours difficile de trouver une solution optimale quand plusieurs aspects doivent être considérés simultanément, comme la distribution équitable des quarts de travail et les contraintes liées au milieu de travail.

Les méthodes utilisées pour résoudre les problèmes d’horaire peuvent aussi être classifiées selon d’autres critères : les caractéristiques du personnel, le type de décision, les contraintes de couverture, l’algorithme de résolution, etc. Van den Bergh *et al.* (2013) ont d’ailleurs répertorié et classé près de 300 articles de cette façon. Pour ce qui est des caractéristiques du personnel, ils mentionnent notamment des situations où un groupe d’employés avec des compétences hétérogènes doit accomplir des tâches spécialisées et où il est important d’affecter les personnes avec plus d’ancienneté à des tâches spécifiques. Dans certains articles étudiés, les contraintes de couverture doivent absolument être respectées, il s’agit alors de contraintes

dures. D'autres articles utilisent des contraintes souples, c'est-à-dire qu'elles peuvent être violées, mais elles seront alors pénalisées dans la fonction objectif. Les auteurs expliquent que dans 75 % des cas une contrainte dure assure qu'il y a assez de personnel pour chaque période de temps. Dans certains projets, en plus de cette contrainte, la fonction objectif cherche à minimiser la main d'oeuvre totale. Les auteurs soulèvent également que la plupart des projets présentent des modèles considérant plusieurs objectifs. En effet, il faut tenir compte de différentes priorités pondérées à l'aide de coefficients dans la fonction objectif.

Dans la littérature concernant la création d'horaires de travail, il est possible de séparer les projets de recherche en deux catégories : l'affectation de quarts de travail et l'affectation de tâches au personnel.

2.1 Affectation de quarts de travail au personnel infirmier

La grande majorité des projets en recherche opérationnelle portant sur la confection d'horaires en milieu hospitalier s'intéressent plus particulièrement à l'affectation de quarts de travail au personnel infirmier. Plusieurs méthodes sont employées pour résoudre ce problème : programmation linéaire en nombres entiers, approches multicritères, heuristiques, etc. Toutefois, la plupart de ces approches sont peu utilisées en pratique : « un objectif scientifique crucial dans les recherches portant sur les horaires d'infirmières sera de s'attaquer aux besoins et aux demandes du monde réel. » [Notre traduction] (Burke *et al.*, 2004).

Afin de modéliser le problème d'affectation, l'utilisation de la programmation linéaire en nombres entiers est courante. L'algorithme présenté par Jaumard *et al.* (1998) utilise la génération de colonnes et considère différents objectifs tels que la réduction des coûts, le respect des préférences et la qualité des soins. Cette approche tient également compte de contraintes présentes dans la réalité comme le respect de la convention collective et de la couverture. Dans la modélisation, les auteurs utilisent des infirmières de l'équipe volante afin d'avoir une solution réalisable. Toutefois, cette dernière situation sera fortement pénalisée dans la fonction objectif.

Azaiez et Al Sharif (2005) ont développé un modèle avec des variables de décision binaires qui a été implanté dans différentes unités d'un hôpital en Arabie Saoudite où les horaires étaient faits manuellement. Leur objectif est de s'assurer que les préférences des infirmières sont respectées tout en considérant les différentes contraintes de l'hôpital. Ces dernières sont séparées en deux catégories : les contraintes dures, comme le respect du nombre minimal d'infirmières, et les contraintes souples, comme l'affectation minimale de journées de travail isolées. Cette modélisation s'apparente au présent projet où certaines situations doivent être encouragées, mais la solution doit rester réalisable si elles ne sont pas possibles. Les auteurs

utilisent une méthode d'optimisation par objectifs (*goal programming*), c'est-à-dire que pour les contraintes souples un objectif est fixé et l'écart par rapport à cet objectif est pénalisé dans la fonction objectif. Un sondage fait auprès du personnel a démontré que l'implantation du modèle avait contribué à satisfaire davantage les préférences des infirmières. De plus, leur méthode permet de considérer plusieurs objectifs en même temps, ce qui ne pouvait être fait avec la méthode manuelle.

Dans sa thèse, Trilling (2006) présente un problème d'horaire pour des infirmiers anesthésistes. Chaque jour, les infirmiers peuvent être affectés à quatre différentes équipes. Afin d'assurer la polyvalence du personnel, il est important qu'il y ait une rotation du personnel affecté aux différentes équipes. L'horaire est ainsi plus facile à réaliser à long terme parce que les infirmiers conservent leurs qualifications. L'objectif est donc de maximiser l'équité lors de l'affectation aux différents postes de travail, ce qui est formulé dans la fonction objectif en minimisant l'écart entre la charge de travail maximale et minimale des infirmiers. Pour résoudre ce problème, Trilling utilise une approche en programmation linéaire mixte et une approche en programmation par contraintes. La première donne de meilleurs résultats en ce qui a trait à la solution obtenue et au temps de résolution.

Hojati et Patil (2011) ont développé un modèle de programmation en nombres entiers en deux étapes permettant de créer de bons quarts de travail et ensuite de les affecter au personnel à temps partiel ayant des compétences hétérogènes. Lorsque la main-d'oeuvre disponible ne peut pas assurer le travail à accomplir, des travailleurs occasionnels servent alors à combler les manques. Les auteurs ont développé une méthode pratique et facile d'utilisation qu'ils ont testée pour faire les horaires du personnel d'un restaurant et ont ainsi pu réduire les surplus d'effectifs.

Les articles présentés précédemment se penchent sur l'affectation de quarts de travail, alors que d'autres projets s'intéressent à l'affectation de tâches ou de salles. Les variables de décision sont similaires ainsi que les contraintes imposant qu'une infirmière ne puisse pas faire deux quarts de travail en même temps ou ne soit pas affectée à deux salles au même moment. Toutefois, la plupart des contraintes restent bien différentes. Dans la littérature portant sur l'affectation des quarts de travail aux infirmières, les contraintes dures empêchent de donner deux quarts de travail de suite à une même infirmière, elles assurent aussi que le nombre d'heures de travail est dans un certain intervalle et que les quarts de jour et de nuit sont affectés selon certaines règles. Ces contraintes ne s'appliquent pas dans le cas de l'affectation des salles aux infirmières.

2.2 Affectation de tâches

Dans le cas de l'affectation des tâches, l'horaire de travail est généralement déjà défini, c'est-à-dire que les journées et les quarts de travail au cours desquels les employés travaillent sont connus, mais pas les tâches qu'ils devront accomplir. Étant donné que l'affectation de tâches aux employés est équivalente à l'affectation de salles aux infirmières, il peut également être intéressant d'analyser les cas qui ne sont pas nécessairement reliés au milieu hospitalier et qui présentent des problèmes d'affectation avec des contraintes supplémentaires.

Caron *et al.* (1999) se penchent d'ailleurs plus particulièrement sur un problème d'affectation de tâches au personnel avec des contraintes d'ancienneté. Le problème considère que certaines personnes sont qualifiées seulement pour certaines tâches, ainsi une tâche ne peut pas être effectuée par n'importe quel employé.

Yaoyuenyong et Nanthavanij (2005) proposent un modèle permettant d'affecter le moins d'employés possible à un ensemble de tâches. Il s'avère que leur problème est une variation de celui du *bin packing*. Leur approche cherche à réduire les risques de blessure et pour y parvenir ils assurent une rotation des tâches parmi les employés. Cette rotation permet également d'augmenter la productivité des employés en partageant les tâches les plus exigeantes.

Al-Yakoob et Sherali (2007) présentent un projet concernant l'affectation d'employés à différentes stations d'essence au Koweït. Ils proposent une approche en deux étapes utilisant un modèle de programmation en nombres entiers. Certaines stations étant préférées, la fonction objectif cherche à minimiser l'insatisfaction totale des employés ainsi que l'écart entre les niveaux d'insatisfaction de chacun d'eux. Les auteurs cherchent également à minimiser le nombre d'employés tout en respectant la demande. Pour ce problème, il n'est pas possible de créer un horaire cyclique, il faut plutôt générer un nouvel horaire chaque mois parce que la disponibilité et les préférences des employés varient. L'implantation de ce modèle a permis de réduire l'insatisfaction par rapport aux horaires faits manuellement.

Eiselt et Marianov (2008) s'attaquent aussi au problème de l'affectation des tâches au personnel. Leur approche ne cherche pas simplement à déterminer quelle est la tâche d'un employé à une certaine période, mais également à considérer la perception qu'a cet employé de sa charge de travail. À long terme, l'équité et la rotation des tâches permettent notamment de réduire l'exode de personnel qualifié. Pour éviter que les employés s'ennuient en faisant toujours la même activité, les auteurs assurent une rotation en incluant dans leurs contraintes des limites supérieures et inférieures quant au nombre de fois qu'un employé peut faire une tâche. Ces rotations permettent au personnel de conserver leur expertise tout en évitant de s'ennuyer en répétant la même tâche.

Finalement, Rong (2010) présente deux modèles, l'un avec des variables entières et l'autre

avec des variables binaires, pour résoudre un problème d'horaire mensuel. Un des objectifs du projet est d'équilibrer la distribution des fins de semaine de congé aux employés tout en considérant l'expertise du personnel.

Ce mémoire présente un projet qui s'appuie sur un cas réel et le programme développé sera utilisé par l'AIC pour affecter les infirmières aux salles. La formulation proposée reprend certains éléments présents dans la littérature, comme la rotation pour assurer un maintien de l'expertise. Toutefois, plusieurs nouveaux éléments seront développés afin de tenir compte de la réalité de l'UED.

CHAPITRE 3

DÉFINITION DU PROBLÈME

Dans le cadre de ce projet, la confection de l'horaire consiste à affecter les infirmières aux salles de travail de l'UED réparties dans deux édifices : Bowen et Fleurimont. Le personnel est composé d'une douzaine d'infirmières dont le nombre fluctue chaque jour selon les disponibilités. Il y a également une trentaine de médecins qui travaillent au sein de l'unité. Certains y sont plusieurs fois par semaine alors que d'autres y travaillent occasionnellement. L'horaire doit être défini pour quatre semaines du lundi au vendredi, chaque journée étant composée de l'avant-midi (AM) et de l'après-midi (PM), pour un total de 40 périodes.

La définition de ce problème d'horaire peut être séparée en trois éléments : les caractéristiques du personnel, celles du travail et l'objectif à optimiser (Causmaecker et Berghe, 2012). Chacune des sections du présent chapitre porte sur un de ces éléments. Les caractéristiques du personnel relèvent principalement de leur disponibilité, de leur poste et de leur spécialisation. Celles du travail portent sur les besoins en infirmières, la convention collective et les spécialisations des salles. Finalement, l'objectif à optimiser inclut toutes les situations à favoriser, comme les journées complètes de travail, ainsi que les situations à éviter, comme les surplus de personnel. Ces situations représentent un objectif parce qu'elles ne peuvent pas toujours être entièrement satisfaites.

3.1 Caractéristiques des infirmières

Chaque mois, les infirmières de l'unité se voient attribuer certaines caractéristiques qui auront une influence sur l'horaire créé : leur disponibilité à chaque période de temps, leur poste, leur expertise, leur horaire de garde, leur ancienneté et leur historique de travail.

3.1.1 Disponibilité des infirmières

La disponibilité des infirmières est connue via le rapport d'horaire (voir un exemple en annexe A). Il indique si une infirmière est disponible ou non, c'est-à-dire en congé, en congé de maladie, en vacances, etc. Les infirmières qui y figurent sont affectées à l'unité, mais ne sont pas encore affectées à une salle.

Les surplus de personnel sont possibles s'il y a plus d'infirmières disponibles dans le rapport d'horaire qu'il est nécessaire. Inversement, il peut aussi y avoir des pénuries s'il manque d'infirmières disponibles.

3.1.2 Poste

Certaines infirmières ont des postes à temps complet, c'est-à-dire un horaire de cinq jours par semaine du lundi au vendredi. Parmi les infirmières à temps complet, il est possible que certaines d'entre elles ne soient jamais disponibles. Par exemple, si une infirmière est en congé de maladie, même si elle figure au rapport d'horaire, elle ne peut pas être affectée à une salle. Il peut ainsi y avoir moins d'infirmières à temps complet réellement disponibles. À noter que seulement les infirmières ayant au moins une période de disponibilité seront considérées dans les différentes instances du problème.

D'autres infirmières ont des postes à temps partiel. Les disponibilités pour chacun de ces postes sont également dans le rapport d'horaire et représentent un nombre maximum de jours au cours desquels les infirmières sont disponibles. Les infirmières à temps partiel doivent aussi travailler un minimum de jours par deux semaines tel que stipulé dans leur contrat. Le nombre de périodes de travail doit donc se situer dans un certain intervalle. De plus, parmi les infirmières à temps partiel, seulement certaines ont la possibilité de faire des demi-journées de travail, et ce, seulement, si au cours de cette même journée, il n'y a pas d'infirmières de l'équipe volante qui travaille.

Les infirmières qui ont un poste à temps complet ou à temps partiel travaillent toujours en endoscopie digestive. D'autres infirmières, celles de l'équipe volante, peuvent être disponibles tous les jours, mais dans différents départements de l'hôpital, dans l'UED ou ailleurs. Elles sont considérées disponibles par l'AIC seulement lorsqu'elles sont affectées en endoscopie digestive dans le rapport d'horaire. Ces infirmières servent alors à combler le manque d'effectif. En raison de la convention collective, il faut donner le maximum d'heures et de journées complètes aux infirmières qui ont des postes avant de faire appel à ces infirmières occasionnelles.

3.1.3 Expertise

En général, les infirmières qui ont des postes à temps complet ou à temps partiel sont toutes équivalentes dans le sens où chacune peut faire toutes les spécialisations (définies dans la section 3.2.3) et peut être affectée à toutes les salles. Les infirmières de l'équipe volante, quant à elles, n'ont pas toujours l'expertise nécessaire pour faire des spécialisations. Il faut définir les compétences pour chacune d'elle.

3.1.4 Horaire de garde

L'AIC utilise l'horaire de garde, c'est-à-dire l'horaire de l'infirmière disponible s'il y a une urgence, afin d'affecter les salles aux infirmières (voir un exemple en annexe B). Chaque jour,

il n'y a qu'une seule infirmière de garde et généralement elle le sera pour une période variant de deux à quatre jours. De plus, l'infirmière qui est de garde durant les jours de semaine devrait préférentiellement être affectée à la salle de garde de Fleurimont.

3.1.5 Ancienneté

Chaque infirmière a un nombre d'années d'ancienneté, les infirmières ayant un poste étant généralement les plus anciennes. Les infirmières les plus expérimentées sont favorisées lors de l'affectation à certaines salles.

3.1.6 Historique

Les infirmières ont un historique de travail qui tient compte des spécialisations qu'elles ont faites et des médecins avec lesquels elles ont travaillé dans les semaines précédentes.

3.1.7 Intégration

Lorsqu'une nouvelle infirmière obtient un poste au sein de l'UED, elle doit suivre un processus de formation afin d'acquérir les compétences nécessaires. Cette infirmière est alors considérée en intégration et le niveau de progression de sa formation a un impact sur son affectation dans les différentes salles. Si elle est en binôme, elle ne doit être affectée à aucune salle, car elle travaille avec une autre infirmière qualifiée pour la former. L'infirmière intégratrice doit travailler avec un médecin gastro-entérologue si possible. Lorsque l'infirmière en intégration a acquis un peu d'expérience, elle peut alors travailler seule dans les salles de clinique préférentiellement avec un médecin gastro-entérologue, mais elle ne peut pas être affectée aux autres salles spécialisées de l'UED. Finalement, plus sa formation avance, plus l'AIC favorisera qu'elle soit affectée dans les salles spécialisées en commençant par la broncho et l'EBUS, ensuite l'ERCP et finalement l'écho-endo.

3.2 Caractéristiques du travail

Les caractéristiques reliées au milieu de travail entraînent la création de contraintes qui seront utilisées lors de la modélisation. L'horaire des médecins, les journées de travail complètes et les spécialisations de l'UED vont ainsi influencer la confection de l'horaire.

3.2.1 Horaire des médecins

L'horaire des médecins, qui varie chaque mois, permet de connaître les besoins en infirmières pour chaque période. En effet, certaines salles ont toujours besoin d'infirmières alors

que d'autres, comme les salles de clinique, requièrent une infirmière seulement lorsqu'un médecin est affecté à la salle. Le tableau 3.1 illustre une journée typique avec l'horaire des médecins pour les salles 5 à 8 (qui font partie des salles de clinique). Dans cet exemple, une infirmière doit être affectée à la salle 5 en avant-midi seulement, une infirmière à la salle 6 en après-midi seulement et deux infirmières toute la journée aux salles 7 et 8.

Tableau 3.1 Exemple d'horaire des médecins

		Salle 5	Salle 6	Salle 7	Salle 8
Lundi	AM	Dr. Allard		Dr. Cherkesly	Dr. Émond
	PM		Dr. Bardet	Dr. Dubé	Dr. Émond

Selon l'affectation des médecins aux salles, certaines infirmières ne pourront pas être affectées dans la même salle qu'un médecin, si cette combinaison infirmière-médecin n'est pas possible. Par exemple, certaines infirmières ne manipulent pas les scopes, il faut donc éviter de les mettre avec des médecins qui ne les manipulent pas non plus.

3.2.2 Journées complètes

Dans le tableau 3.2, les journées en gris doivent absolument être complètes, c'est-à-dire qu'une infirmière travaillant en avant-midi dans une de ces salles devra rester dans la même salle en après-midi. Ces journées doivent être complètes parce que les salles concernées doivent toujours avoir une infirmière en avant-midi et en après-midi, il est donc plus simple que ce soit la même infirmière.

Tableau 3.2 Journées complètes obligatoires (en gris)

	Bowen			Fleurimont
	Salle 2	Salle 3	Récup	Garde
Lundi				
Mardi				
Mercredi				
Jeudi				
Vendredi				

3.2.3 Salles spécialisées

Pour les infirmières spécialisées, il est important d'assurer une rotation parmi les quatre spécialisations de l'UED : l'ERCP, l'écho-endo, la broncho et l'EBUS. Les infirmières ne peuvent donc pas toujours être affectées aux mêmes salles afin de conserver leur expertise.

ERCP

Physiquement, l'ERCP a lieu dans une autre salle qui n'est pas sur le même étage que l'UED, toutefois pour simplifier la grille horaire, l'ERCP est affecté aux salles de garde 2 et 3 de l'édifice Bowen. Les lundi, mercredi et jeudi après-midi, l'ERCP est dans les salles 2 et 3, alors que le vendredi après-midi, il est seulement dans la salle 3 (la salle 2 étant occupée). Il n'y a pas de ERCP le mardi.

Chaque semaine, deux infirmières doivent être affectées aux salles de garde 2 et 3 de Bowen (SGB), et ce, en respectant deux patrons précis. Une infirmière qui fait le premier patron travaille dans la salle 2 les lundi et mardi, et dans la salle 3 du mercredi au vendredi. L'horaire est inversé pour le deuxième patron. Dans le tableau 3.3, les journées en gris pâle sont celles du premier patron et celles en gris foncé sont celles du deuxième. Comme les salles de garde 2 et 3 servent au ERCP en après-midi, les infirmières qui y travaillent font également cette spécialisation. Les infirmières qui ont un patron changent chaque semaine, ce qui assure une rotation des infirmières qui font l'ERCP au cours du mois.

Tableau 3.3 Deux patrons en SGB

		Salle 2	Salle 3
Lundi	AM PM	<i>ERCP</i>	<i>ERCP</i>
Mardi	AM PM		
Mercredi	AM PM	<i>ERCP</i>	<i>ERCP</i>
Jeudi	AM PM	<i>ERCP</i>	<i>ERCP</i>
Vendredi	AM PM		<i>ERCP</i>

Écho-endo

L'écho-endo a toujours lieu à la salle 5 de Bowen, ainsi n'importe quel médecin affecté à cette salle fera de l'écho-endo et par le fait même l'infirmière qui l'accompagne aussi. Toujours afin d'assurer une rotation, une infirmière ne doit pas faire plus d'une journée d'écho-endo par mois. De plus, il est préférable que les infirmières qui ont fait moins d'écho-endo par le passé (selon leur historique) soient priorisées.

Broncho

La broncho a toujours lieu dans la salle de broncho à Fleurimont du lundi au jeudi en avant-midi seulement. Chaque infirmière spécialisée en broncho doit en faire au moins une fois par mois, toutefois elle ne doit pas en faire plus d'une fois par semaine.

EBUS

L'EBUS a toujours lieu dans la salle de broncho à Fleurimont, mais uniquement en après-midi. Généralement, l'EBUS a lieu le mardi et le jeudi. Parfois, une de ces journées peut être annulée ou remplacée par un lundi ou un mercredi, mais jamais un vendredi. Une infirmière spécialisée en EBUS ne peut pas faire du EBUS plus d'une fois dans la même semaine. Il n'y a pas de limite inférieure quant au nombre de fois qu'une infirmière doit faire l'EBUS dans le mois, car il est possible qu'il n'y ait pas assez de périodes de EBUS au cours du mois pour que toutes les infirmières puissent en faire. Afin d'assurer un maintien de l'expertise, l'EBUS est donné en priorité aux infirmières qui en ont fait le moins dans le passé.

3.3 Objectifs à optimiser

Ayant en main toutes les données nécessaires pour réaliser l'horaire du mois à venir, l'AIC va considérer simultanément différents principes qu'elle essaie de respecter le plus possible, mais qui peuvent parfois être violés. Voici la liste des situations qu'elle souhaite favoriser ou éviter :

Situations à favoriser

- Favoriser des journées complètes dans la même salle ;
- Pour la récupération, favoriser en priorité les infirmières de l'équipe volante et ensuite les infirmières par ordre d'ancienneté ;
- Favoriser l'affectation de l'infirmière de garde à la salle de garde à Fleurimont ;
- Favoriser que certaines infirmières soient affectées dans les salles de clinique avec un médecin gastro-entérologue ;
- Favoriser que la salle 3 le vendredi soit donnée en priorité à un certain groupe d'infirmières et ensuite par ordre d'ancienneté ;
- Favoriser une rotation des infirmières dans les différentes spécialisations (écho-endo, broncho, EBUS) et avec les médecins particuliers selon leur historique ;
- Favoriser que l'infirmière en intégration soit dans certaines salles afin de poursuivre sa formation.

Situations à éviter

- Éviter les surplus d’infirmières (il y a une certaine flexibilité avec les infirmières à temps partiel) ;
- Éviter de faire travailler les infirmières de l’équipe volante ;
- Éviter de faire travailler les nouvelles infirmières en même temps en ERCP ou en EBUS ;
- Éviter qu’une infirmière remplace une autre qui fait un des patrons dans les salles de gardes de Bowen. De cette façon, les patrons sont donnés aux deux mêmes infirmières toute la semaine.

Parmi ces principes, certains sont plus importants que d’autres. Par exemple, il est possible de faire travailler en même temps en ERCP deux nouvelles infirmières si le non-respect de ce principe permet qu’une infirmière qui est de garde soit affectée à la salle de garde de Fleurimont. En d’autres mots, le respect de l’affectation de l’infirmière de garde à la salle de garde est plus important que d’éviter de faire travailler en même temps deux nouvelles infirmières. Cette importance relative est déterminée par l’AIC.

CHAPITRE 4

MODÈLE PROPOSÉ

Ce chapitre présente le modèle permettant de générer l'horaire mensuel. En premier lieu, la notation utilisée concernant les infirmières, les salles, les périodes et les médecins est expliquée. Ensuite, les paramètres nécessaires à la résolution du problème et les variables de décision sont présentés. Puis, les contraintes dures sont décrites suivies des contraintes souples. Finalement, la fonction objectif contenant plusieurs termes est définie.

4.1 Notation

La notation utilisée pour la modélisation permet de créer plusieurs sous-ensembles afin de rassembler les infirmières, les salles, les périodes et les médecins selon certaines caractéristiques communes. Les ensembles sont toujours écrits en lettres majuscules alors que les indices utilisés pour une infirmière ou une salle précise sont en minuscules. L'ensemble de la notation utilisée dans le modèle est également détaillé dans les pages xi-xii.

4.1.1 Infirmières

La notation spécifique aux infirmières est présentée dans le tableau 4.1. Il y a des sous-ensembles selon leur poste, leur expertise, etc. Les indices i_r , i_s , i_f et i_t appartiennent à l'ensemble de toutes les infirmières I et chacun représente une seule infirmière. L'infirmière fictive i_f , comme son nom l'indique, n'est pas réelle, mais fort utile lors de la modélisation parce qu'elle permet d'avoir une solution réalisable lorsqu'il y a une pénurie de personnel.

Il est intéressant d'expliquer brièvement comment sont reliés ces différents sous-ensembles. En effet, les infirmières à temps complet TC , à temps partiel TP et de l'équipe volante EV ainsi que l'infirmière fictive représente l'ensemble des infirmières : $I = TC \cup TP \cup EV \cup \{i_f\}$. L'ensemble IR représente toutes les infirmières à l'exception de l'infirmière fictive. De plus, les infirmières à temps partiel qui peuvent faire des demi-journées $TPDJ$ et celles qui ne peuvent pas TPJ représentent l'ensemble des infirmières à temps partiel : $TP = TPDJ \cup TPJ$.

4.1.2 Salles

La notation relative aux salles est présentée dans le tableau 4.2. Les indices s_2 , s_3 , s_5 , etc. appartiennent à l'ensemble S et chacun d'eux représente une seule salle. Les salles fictives s_f

Tableau 4.1 Notation pour les infirmières

I	Ensemble des infirmières
TC	Sous-ensemble des infirmières ayant un poste à temps complet
TP	Sous-ensemble des infirmières ayant un poste à temps partiel
TPJ	Sous-ensemble des inf. à temps partiel qui doivent faire des journées complètes
$TPDJ$	Sous-ensemble des inf. à temps partiel peuvent faire des demi-journées
EV	Sous-ensemble des infirmières de l'équipe volante
IR	Sous-ensemble des infirmières réelles
IN	Sous-ensemble des infirmières considérées comme nouvelles
II	Sous-ensemble des infirmières intégratrices
IS^{ercp}	Sous-ensemble des infirmières spécialisées en ERCP
IS^{echo}	Sous-ensemble des infirmières spécialisées en écho-endo
IS^{bron}	Sous-ensemble des infirmières spécialisées en broncho
IS^{ebus}	Sous-ensemble des infirmières spécialisées en EBUS
IG	Sous-ensemble des infirmières pour lesquelles la gastro est favorisée
IP	Sous-ensemble des infirmières pour lesquelles l'ERCP est favorisé
i_r	Infirmière qui est toujours dans la salle de récupération lorsqu'elle travaille
i_s	Infirmière qui est favorisée en surplus
i_f	Infirmière fictive
i_t	Infirmière en intégration

et s_s n'existent pas physiquement dans l'UED, mais permettent de simplifier la modélisation. L'indice s_r représente la salle de récupération. Le sous-ensemble SP des salles où il y a des spécialisations est constitué des salles de gardes 2 et 3 de Bowen, de la salle 5 pour l'écho-endo, de la salle de broncho s_b et de la salle fictive : $SP = \{s_2, s_3, s_5, s_b, s_f\}$.

4.1.3 Périodes de temps

La notation utilisée pour les périodes et les jours est présentée dans le tableau 4.3. Pour ce qui est de l'ensemble P où $p = \{1, 2, 3, \dots, 40\}$, il représente les demi-journées (AM et PM) du lundi au vendredi sur quatre semaines, pour un total de 40 par horaire. Les sous-ensembles W_η regroupent les périodes pour chacune des quatre semaines η de l'horaire.

Pour faciliter la compréhension du modèle, un ensemble de jours J correspondant aux différentes périodes est défini où $j = \{1, 2, 3, \dots, 20\}$. Selon le jour donné, les fonctions $p_1(j) = 2j - 1$ et $p_2(j) = 2j$ renvoient respectivement la première période correspondante et la deuxième. Ainsi, $p_1(1) = 1$, $p_2(1) = 2$, $p_1(2) = 3$, $p_2(2) = 4$, ..., $p_1(20) = 39$ et $p_2(20) = 40$.

Inversement, il existe une fonction qui, selon la période donnée, renvoie la semaine correspondante : $w(p) = \lfloor \frac{p-1}{10} \rfloor + 1$. Ainsi, $w(1) = 1$, $w(2) = 1, \dots$, $w(11) = 2, \dots$, $w(39) = 4$, $w(40) = 4$.

Tableau 4.2 Notation pour les salles

S	Ensemble des salles
SC	Sous-ensemble des salles utilisées pour les cliniques
SP	Sous-ensemble des salles où il y a des spécialisations
s_2	Salle de garde 2 de Bowen
s_3	Salle de garde 3 de Bowen
s_5	Salle d'écho-endo
s_r	Salle de récupération
s_g	Salle de garde de Fleurimont
s_b	Salle de broncho
s_f	Salle fictive pour l'EBUS et l'ERCP
s_s	Salle fictive pour les surplus

Tableau 4.3 Notation pour les périodes et les jours

P	Ensemble des périodes
W_η	Sous-ensemble des périodes de la semaine $\eta = \{1, 2, 3, 4\}$
$P_{s_3}^{ercp}$	Sous-ensemble des périodes où il y a du ERCP dans la salle 3
P^{bron}	Sous-ensemble des périodes où il y a de la broncho
W_η^{bron}	Sous-ensemble des périodes de la semaine $\eta = \{1, 2, 3, 4\}$ où il y a de la broncho
P^{ebus}	Sous-ensemble des périodes où il y a du EBUS
W_η^{ebus}	Sous-ensemble des périodes de la semaine $\eta = \{1, 2, 3, 4\}$ où il y a du EBUS
J	Ensemble des jours
J^{ebus}	Sous-ensemble des jours où il y a du EBUS

4.1.4 Médecins

Finalement, la notation utilisée pour les médecins est présentée dans le tableau 4.4. Les médecins particuliers MP et fictif m_f seront définis dans les prochaines sections. L'ensemble M des médecins est représenté par les médecins gastro-entérologues MG , chirurgiens MC et fictif : $M = MG \cup MC \cup \{m_f\}$.

Tableau 4.4 Notation pour les médecins

M	Ensemble des médecins
MP	Sous-ensemble des médecins particuliers
MG	Sous-ensemble des médecins gastro-entérologues
MC	Sous-ensemble des médecins chirurgiens
m_f	Médecin fictif

4.2 Paramètres

Les paramètres présentés en page xii sont utilisés pour la formulation du modèle. Les valeurs correspondant à chacun de ces paramètres sont lues dans un fichier de données via le programme développé dans le cadre du présent projet. Ce fichier de données est complété par l'AIC lorsqu'elle veut faire l'horaire. Par conséquent, les valeurs des paramètres utilisés lors de la résolution du modèle changent chaque mois. Contrairement aux variables, présentées dans les prochaines sections, les valeurs des paramètres sont connues avant la résolution.

L'affectation des médecins aux salles pour chaque période, représentée par le paramètre A_{msp} , permet de déterminer les besoins en infirmières. Dans les salles où il faut toujours une infirmière (comme les salles de garde, en récupération et en broncho), le médecin fictif y est affecté.

Pour les contraintes liées à la rotation des spécialisations et des médecins particuliers, il est important d'avoir un historique pour chacune des infirmières, représenté par les paramètres de type H_i . Par exemple, il est nécessaire de savoir dans l'horaire précédent quelles infirmières étaient affectées en SGB à la dernière semaine.

Les autres paramètres seront présentés au fur et à mesure lors de la formulation du modèle.

4.3 Variables principales

Le modèle proposé utilise des variables de décision booléennes permettant de savoir si une infirmière est affectée à une salle, et ce, à chacune des périodes :

$$x_{isp} = \begin{cases} 1 & \text{si l'infirmière } i \in I \text{ est assignée à la salle } s \in S \text{ à la période } p \in P \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.1)$$

4.4 Contraintes dures

Les contraintes dures représentent certaines situations qui doivent absolument être respectées lors de la confection de l'horaire, comme l'affectation d'une infirmière dans une salle où il y a un médecin ou l'obligation de donner une journée complète dans la salle de récupération.

4.4.1 Affectation

Chaque fois qu'il y a un médecin dans une salle à une période, il faut qu'une infirmière y soit affectée. Dans les salles où il faut deux infirmières, soit en EBUS et en ERCP (le vendredi PM seulement), il existe une salle fictive s_f avec un médecin fictif m_f affecté à cette salle. Une infirmière affectée à la salle s_f est alors considérée comme une deuxième infirmière. La

contrainte suivante ne s'applique pas à la salle de surplus s_s , qui est aussi fictive, ainsi plus d'une infirmière peut y être affectée et est alors considérée en surplus :

$$\sum_{i \in I} x_{isp} = \sum_{m \in M} A_{msp} \quad \forall s \in S \setminus \{s_s\}, p \in P. \quad (4.2)$$

4.4.2 Disponibilité

Lorsqu'une infirmière à temps complet (TC) est disponible à une période donnée, elle doit impérativement être affectée à une salle. Une infirmière à temps partiel (TP) ou de l'équipe volante (EV) peut être affectée à une salle seulement si elle est disponible. La disponibilité est considérée via les contraintes suivantes :

$$\sum_{s \in S} x_{isp} = D_{ip} \quad \forall i \in TC, p \in P \quad (4.3)$$

$$\sum_{s \in S} x_{isp} \leq D_{ip} \quad \forall i \in TP \cup EV, p \in P. \quad (4.4)$$

Les contraintes de disponibilité s'appliquent à l'ensemble I des infirmières à l'exception de l'infirmière fictive i_f . Cette dernière est ainsi considérée comme étant toujours disponible et peut même être affectée à plusieurs salles à la même période.

4.4.3 Temps de travail minimum

Selon leur contrat, les infirmières à temps partiel de l'ensemble TP doivent faire au moins un certain nombre d'heures au cours des deux premières semaines de l'horaire et des deux dernières. Si l'infirmière a des disponibilités qui ne permettent pas de respecter ces contraintes, la valeur de T_i est modifiée et correspond alors à la disponibilité totale sur les deux semaines. Par exemple, si une infirmière a un temps de travail minimum de 16 périodes, mais ses disponibilités totales sur les deux premières semaines sont seulement de 12 périodes, la valeur de T_i^{1-2} sera de 12 plutôt que 16. Quand une infirmière est disponible sur la totalité du mois, les valeurs de T_i^{1-2} et T_i^{3-4} sont égales. Ces contraintes s'écrivent :

$$\sum_{s \in S} \sum_{p=1}^{20} x_{isp} \geq T_i^{1-2} \quad \forall i \in TP \quad (4.5)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{p=21}^{40} x_{isp} \geq T_i^{3-4} \quad \forall i \in TP. \quad (4.6)$$

4.4.4 Équipe infirmière-médecin

À chaque période, une infirmière peut être affectée à une salle avec un médecin seulement si la formation de l'équipe infirmière-médecin est possible. Cette contrainte s'applique seulement dans les salles où des médecins réels sont affectés, c'est-à-dire dans les salles de clinique (SC). Étant donné que les valeurs de E_{im} sont établies par l'AIC, cette contrainte est valable seulement pour les couples infirmière-médecin qui ne sont pas permis

$$\sum_{s \in SC} \sum_{p \in P} A_{msp} \cdot x_{isp} = 0 \quad \forall (i, m) | E_{im} = 0. \quad (4.7)$$

Une infirmière ne peut être affectée plus de deux fois dans le mois avec le même médecin particulier :

$$\sum_{s \in SC} \sum_{p \in P} A_{msp} \cdot x_{isp} \leq 2 \quad \forall i \in IR, m \in MP. \quad (4.8)$$

Dans la fonction objectif, les infirmières ayant le moins travaillé avec ce médecin par le passé seront priorisées.

4.4.5 Récupération

En règle générale, à chaque semaine η , une infirmière doit être affectée au maximum une journée, donc deux périodes, à la salle de récupération s_r . Il y a toutefois une exception à cette règle. L'infirmière i_r fait seulement de la récupération lorsqu'elle travaille. Par exemple, si cette infirmière est disponible 3 jours au cours de la semaine, elle fera 3 jours de récupération. L'affectation à la salle de récupération est donc gérée via les contraintes suivantes :

$$\sum_{p \in W_\eta} x_{is_r p} \leq 2 \quad \forall i \in IR \setminus i_r, \eta \in \{1, 2, 3, 4\} \quad (4.9)$$

$$x_{i_r s_r p} = D_{i_r p} \quad \forall p \in P. \quad (4.10)$$

4.4.6 Spécialisations

Les salles spécialisées peuvent recevoir seulement des infirmières qui ont les qualifications requises. De plus, il est important d'assurer un nombre minimal et/ou maximal d'affectations pour certaines de ces spécialisations.

ERCP

Les infirmières qui ne sont pas spécialisées en ERCP ne peuvent pas être affectées dans la salle de garde s_2 , et ce, même si les périodes de ERCP sont seulement en après-midi. Elles ne peuvent pas non plus travailler dans la salle s_3 lors des périodes de ERCP. Étant donné que l'ERCP a lieu uniquement dans la salle 3 le vendredi après-midi, la deuxième infirmière, affectée à la salle fictive, doit également être spécialisée en ERCP. Ces contraintes s'écrivent :

$$\sum_{i \notin IS^{ercp}} \sum_{p \in P} x_{is_2p} = 0 \quad (4.11)$$

$$\sum_{i \notin IS^{ercp}} \sum_{p \in P_{s_3}^{ercp}} x_{is_3p} = 0 \quad (4.12)$$

$$\sum_{i \notin IS^{ercp}} \sum_{p \in \{10,10,30,40\}} x_{is_{fp}} = 0. \quad (4.13)$$

Ces contraintes sont présentées avec des sommations, mais elles auraient également pu être présentées en posant chacune des variables égale à zéro pour chaque infirmière à chaque période. Cette formulation permet de réduire le nombre de contraintes et en pratique permet également de réduire le temps de résolution.

Écho-endo

Les infirmières qui n'ont pas l'expertise nécessaire pour faire de l'écho-endo ne peuvent pas être affectées dans la salle s_5 qui accueillent seulement des cas spécialisés en écho-endo

$$\sum_{i \notin IS^{echo}} \sum_{p \in P} x_{is_5p} = 0. \quad (4.14)$$

De plus, les infirmières spécialisées ne doivent pas faire de l'écho-endo plus d'une journée, donc deux périodes, par mois

$$\sum_{p \in P} x_{is_5p} \leq 2 \quad \forall i \in IS^{echo}. \quad (4.15)$$

Broncho

Du lundi au jeudi en avant-midi, la salle de broncho (s_b) reçoit seulement des cas spécialisés en broncho. Il faut alors empêcher les infirmières qui ne sont pas spécialisées en broncho de

travailler dans cette salle

$$\sum_{i \notin IS^{bron}} \sum_{p \in P^{bron}} x_{is_bp} = 0. \quad (4.16)$$

Les infirmières spécialisées ne peuvent pas être affectées en broncho plus d'une fois au cours de chaque semaine η . Toutefois, elles doivent faire de la broncho au moins une fois par mois si elles sont disponibles au moins cinq jours (10 périodes). Il faut inclure les contraintes suivantes :

$$\sum_{p \in W_{\eta}^{bron}} x_{is_bp} \leq 1 \quad \forall i \in IS^{bron}, \eta \in \{1, 2, 3, 4\} \quad (4.17)$$

$$\sum_{p \in P^{bron}} x_{is_bp} \geq 1 \quad \forall i \in IS^{bron} \mid \sum_{p \in P} D_{ip} \geq 10. \quad (4.18)$$

EBUS

Lors des périodes de EBUS, deux infirmières sont nécessaires. Ainsi, les infirmières qui ne sont pas qualifiées pour faire l'EBUS ne doivent être affectées ni à la salle de broncho (s_b) ni à la salle fictive (s_f)

$$\sum_{i \notin IS^{ebus}} \sum_{p \in P^{ebus}} (x_{is_bp} + x_{is_fp}) = 0. \quad (4.19)$$

Les infirmières spécialisées ne doivent pas faire du EBUS plus d'une fois par semaine

$$\sum_{p \in W_{\eta}^{ebus}} x_{is_bp} + \sum_{p \in W_{\eta}^{ebus}} x_{is_fp} \leq 1 \quad \forall i \in IS^{ebus}, \eta \in \{1, 2, 3, 4\}. \quad (4.20)$$

4.4.7 Journées complètes obligatoires

Dans la salle s_2 , les lundi, mercredi, jeudi et vendredi, l'infirmière qui y est affectée doit faire une journée complète

$$x_{is_2p_1(j)} = x_{is_2p_2(j)} \quad \forall i \in IS^{ercp}, j \in \{1, \dots, 20\} \setminus \{2, 7, 12, 17\}. \quad (4.21)$$

L'infirmière qui est affectée dans la salle s_3 , les lundi, mercredi et jeudi, doit aussi faire une journée complète

$$x_{is_3p_1(j)} = x_{is_3p_2(j)} \quad \forall i \in IS^{ercp}, j \in \{1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 18, 19\}. \quad (4.22)$$

Dans la salle de récupération s_r et la salle de garde s_g de Fleurimont, les infirmières affectées à ces salles doivent faire une journée complète, et ce, tous les jours de la semaine

$$x_{is_r p_1}(j) = x_{is_r p_2}(j) \quad \forall i \in IR, j \in J \quad (4.23)$$

$$x_{is_g p_1}(j) = x_{is_g p_2}(j) \quad \forall i \in IR, j \in J. \quad (4.24)$$

Dans la salle de broncho s_b , les journées où il y a du EBUS, l'infirmière affectée à cette salle doit faire une journée complète

$$x_{is_b p_1}(j) = x_{is_b p_2}(j) \quad \forall i \in IS^{ebus}, j \in J^{ebus}. \quad (4.25)$$

S'il y a du EBUS le mardi, l'infirmière qui est dans la salle s_3 cette journée en avant-midi doit être en EBUS en après-midi, soit dans la salle fictive (s_f)

$$x_{is_3 p_1}(j) = x_{is_f p_2}(j) \quad \forall i \in IS^{ebus}, j \in J^{ebus} \cap \{2, 7, 12, 17\}. \quad (4.26)$$

Certaines infirmières à temps partiel (celles de l'ensemble TPJ), lorsqu'elles travaillent, doivent faire une journée complète de travail, mais elles peuvent changer de salle en mi-journée

$$\sum_{s \in S} x_{is p_1}(j) = \sum_{s \in S} x_{is p_2}(j) \quad \forall i \in TPJ, j \in J. \quad (4.27)$$

D'autres infirmières à temps partiel (celles de l'ensemble $TPDJ$) doivent faire des journées complètes s'il y a des infirmières de l'équipe volante qui travaillent cette même journée. En d'autres mots, s'il n'y a pas d'infirmière de l'équipe volante, ces infirmières ont le droit de faire des demi-journées. Il faut alors créer un nouvel ensemble de variables telles que :

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si l'inf. } i \in TPDJ \text{ fait une journée complète le jour } j \in J, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.28)$$

Les contraintes logiques suivantes assurent que la valeur des variables b_{ij} est toujours entière et qu'elle est égale à un seulement lorsque l'infirmière fait une journée complète :

$$b_{ij} \leq \sum_{s \in S} x_{is p_1}(j) \quad \forall i \in TPDJ, j \in J \quad (4.29)$$

$$b_{ij} \leq \sum_{s \in S} x_{is p_2}(j) \quad \forall i \in TPDJ, j \in J \quad (4.30)$$

$$b_{ij} + 1 \geq \sum_{s \in S} x_{is p_1}(j) + \sum_{s \in S} x_{is p_2}(j) \quad \forall i \in TPDJ, j \in J. \quad (4.31)$$

Il est alors possible de définir une contrainte qui force ces infirmières à faire des journées complètes quand il y a une infirmière (ou plus) de l'équipe volante qui travaille. Il faut considérer l'avant-midi (p_1) et l'après-midi (p_2) dans l'éventualité où une infirmière de l'équipe volante est disponible seulement une demi-journée

$$b_{ij} \geq \sum_{s \in S} x_{i'sp_1(j)} \quad \forall i \in TPDJ, i' \in EV, j \in J \quad (4.32)$$

$$b_{ij} \geq \sum_{s \in S} x_{i'sp_2(j)} \quad \forall i \in TPDJ, i' \in EV, j \in J. \quad (4.33)$$

Finalement, les infirmières de l'équipe volante, lorsqu'elles sont disponibles toute la journée, doivent faire une journée complète de travail

$$\sum_{s \in S} x_{isp_1(j)} = \sum_{s \in S} x_{isp_2(j)} \quad \forall i \in EV, j \in J | D_{ip_1(j)} + D_{ip_2(j)} = 2. \quad (4.34)$$

4.4.8 Infirmière fictive

Dans la réalité, si une infirmière fictive est affectée à une salle, l'AIC pourra faire une demande pour avoir une infirmière de l'équipe volante supplémentaire à ce moment. Étant donné que les infirmières de l'équipe volante ne sont généralement pas spécialisées, il faut que l'infirmière fictive soit affectée dans une salle de clinique sauf la salle d'écho-endo (s_5) ou en récupération. L'affectation est déjà impossible dans les salles spécialisées via les différentes contraintes présentées dans la section 4.4.6. Cette contrainte permet simplement d'empêcher l'infirmière fictive i_f de travailler dans la salle de garde de Fleurimont (s_g)

$$\sum_{p \in P} x_{i_f s_g p} = 0. \quad (4.35)$$

4.4.9 Intégration en binôme

Il ne peut y avoir qu'une seule infirmière en intégration i_t et le niveau de progression de sa formation aura des conséquences sur les contraintes du modèle. En effet, si F_η est un statut où elle doit être en binôme, l'infirmière en intégration ne doit pas être affectée à une salle en particulier parce qu'elle accompagnera une autre infirmière

$$\sum_{s \in S} \sum_{p \in W_\eta} \sum_{\eta \in \{1,2,3,4\} | F_\eta = \text{Binôme}} x_{i_t s p} = 0. \quad (4.36)$$

Il faut alors qu'une des infirmières intégratrices (II) soit en salle de clinique pour assurer sa formation. S'il n'y a pas de médecin gastro-entérologue, l'infirmière intégratrice peut être

dans n'importe quelle salle de clinique. Toutefois, s'il y en a au moins un, elle doit être avec un des médecins gastro-entérologues. Il suffit d'inclure les contraintes suivantes :

$$\sum_{i \in II} \sum_{s \in SC} x_{isp} \geq 1 \quad \forall \eta \in \{1, 2, 3, 4\} | F_\eta = \text{Binôme}, p \in W_\eta | \sum_{m \in MG} \sum_{s \in SC} A_{msp} = 0 \quad (4.37)$$

$$\sum_{i \in II} \sum_{m \in MG} \sum_{s \in SC} A_{msp} \cdot x_{isp} \geq 1 \quad \forall \eta \in \{1, 2, 3, 4\} | F_\eta = \text{Binôme}, p \in W_\eta | \sum_{m \in MG} \sum_{s \in SC} A_{msp} \geq 1. \quad (4.38)$$

4.4.10 Intégration en clinique

Lorsque l'infirmière en intégration peut seulement travailler dans les salles de clinique, il faut s'assurer qu'elle soit seulement dans les salles de clinique non spécialisées ou dans la salle de récupération

$$\sum_{s \notin (SC \setminus \{s_r\}) \cup \{s_5\}} \sum_{p \in W_\eta} \sum_{\eta \in \{1, 2, 3, 4\} | F_\eta = \text{Clinique}} x_{isp} = 0. \quad (4.39)$$

Finalement, il est important qu'une infirmière qui travaille en clinique ne soit pas affectée plus de deux fois dans le mois avec le même médecin afin de découvrir différentes méthodes de travail. Ainsi, pour l'ensemble des périodes, la contrainte suivante s'applique :

$$\sum_{s \in SC} \sum_{p \in P} A_{msp} \cdot x_{isp} \leq 2 \quad \forall m \in MC \cup MG. \quad (4.40)$$

4.5 Contraintes souples

Pour les contraintes souples, des variables intermédiaires sont créées dont la valeur est reliée aux variables de décision x_{isp} via différentes contraintes logiques. Ces variables intermédiaires seront ensuite intégrées dans la fonction objectif.

4.5.1 Journées complètes

Dans les salles de clinique (SC), les infirmières ne peuvent pas toujours faire des journées complètes dans la même salle, selon l'affectation des médecins. Toutefois, s'il est possible qu'une infirmière n'ait pas à se déplacer en mi-journée, cette situation doit être favorisée. Il

faut alors créer un ensemble de variables intermédiaires telles que :

$$y_{isj} = \begin{cases} 1 & \text{si l'inf. } i \in I \text{ fait une journée complète dans la salle } s \in S \text{ le jour } j \in J, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.41)$$

Les contraintes logiques suivantes assurent que $y_{isj} = 1$ seulement quand l'infirmière fait une journée complète dans la même salle :

$$y_{isj} \leq x_{isp_1(j)} \quad \forall i \in I, s \in SC, j \in J \quad (4.42)$$

$$y_{isj} \leq x_{isp_2(j)} \quad \forall i \in I, s \in SC, j \in J \quad (4.43)$$

$$y_{isj} + 1 \geq x_{isp_1(j)} + x_{isp_2(j)} \quad \forall i \in I, s \in SC, j \in J. \quad (4.44)$$

Une journée complète doit être aussi favorisée dans la salle s_2 les mardis (elle est obligatoire les autres journées de la semaine). Les mêmes contraintes logiques s'appliquent donc à la variable y_{is_2j} :

$$y_{is_2j} \leq x_{is_2p_1(j)} \quad \forall i \in I, j \in \{2, 7, 12, 17\} \quad (4.45)$$

$$y_{is_2j} \leq x_{is_2p_2(j)} \quad \forall i \in I, j \in \{2, 7, 12, 17\} \quad (4.46)$$

$$y_{is_2j} + 1 \geq x_{is_2p_1(j)} + x_{is_2p_2(j)} \quad \forall i \in I, j \in \{2, 7, 12, 17\}. \quad (4.47)$$

À noter que les variables intermédiaires y_{isj} ne sont pas gérées par les contraintes logiques pour l'ensemble des salles et des périodes. Dans les contraintes (4.42) à (4.44), seulement les salles de cliniques sont considérées, alors que les contraintes (4.45) à (4.47) s'appliquent seulement à la salle 2 les mardis. Seules les variables dont la valeur est définie via ces contraintes logiques se retrouveront dans la fonction objectif.

4.5.2 Garde à Fleurimont

Il est préférable que l'infirmière qui est de garde une journée, c'est-à-dire dont le paramètre $G_{ip} = 1$, soit affectée à la salle de garde de Fleurimont (s_g). Il faut donc créer un nouvel ensemble de variables intermédiaires telles que :

$$z_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{si l'inf. } i \in TC \cup TP \text{ est de garde à la période } p \in P \text{ et est dans la salle } s_g \in S, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.48)$$

Les infirmières qui peuvent faire la garde correspondent à celles qui ont un poste à temps complet ou partiel. Les contraintes logiques suivantes assurent que $z_{ip} = 1$ seulement quand

l'infirmière de garde est affectée à la salle de garde de Fleurimont :

$$z_{ip} \leq G_{ip} \quad \forall i \in TC \cup TP, p \in P \quad (4.49)$$

$$z_{ip} \leq x_{is_{gp}} \quad \forall i \in TC \cup TP, p \in P \quad (4.50)$$

$$z_{ip} + 1 \geq G_{ip} + x_{is_{gp}} \quad \forall i \in TC \cup TP, p \in P. \quad (4.51)$$

4.5.3 Nouvelles infirmières

Il faut éviter de faire travailler en même temps des nouvelles infirmières de l'ensemble IN en ERCP ou en EBUS. Il faut alors créer des nouvelles variables et des contraintes logiques pour s'assurer que ces variables prennent une valeur de 1 seulement quand deux nouvelles infirmières travaillent en même temps en ERCP les lundi, mercredi et jeudi ($k = 1$), en ERCP le vendredi ($k = 2$) ou en EBUS ($k = 3$). Les variables intermédiaires sont les suivantes :

$$n_{ip}^k = \begin{cases} 1 & \text{si une inf. } i \in IN \text{ est en équipe avec une nouvelle inf. à la période } p \in P, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.52)$$

ERCP

La contrainte logique suivante assure que $n_{ip}^1 = 1$ seulement quand deux infirmières nouvelles travaillent en même temps les après-midi du lundi, mercredi et jeudi dans les salles s_2 et s_3 où a lieu l'ERCP :

$$n_{ip}^1 + 1 \geq x_{is_{2p}} + \sum_{i' \in IN \setminus \{i\}} x_{i's_{3p}} \quad \forall i \in IN, p \in \{2, 6, 8, 12, \dots, 38\}. \quad (4.53)$$

Le vendredi, l'ERCP a lieu seulement dans la salle de garde 3 de Bowen et nécessite deux infirmières. La contrainte logique suivante assure que $n_{ip}^2 = 1$ seulement quand deux infirmières nouvelles travaillent en même temps les après-midi du vendredi dans la salle s_3 et dans la salle fictive s_f :

$$n_{ip}^2 + 1 \geq x_{is_{3p}} + \sum_{i' \in IN \setminus \{i\}} x_{i's_{fp}} \quad \forall i \in IN, p \in \{10, 20, 30, 40\}. \quad (4.54)$$

EBUS

Finalement, durant les périodes de EBUS, les deux infirmières sont dans la salle de broncho s_b et dans la salle fictive s_f . La contrainte logique suivante assure que $n_{ip}^3 = 1$ seulement quand

deux infirmières nouvelles travaillent en même temps dans ces salles :

$$n_{ip}^3 + 1 \geq x_{isbp} + \sum_{i' \in IN \setminus \{i\}} x_{i'sfp} \quad \forall i \in IN, p \in P^{ebus}. \quad (4.55)$$

À noter que les variables intermédiaires n_{ip}^k ne sont pas gérées par les contraintes logiques pour l'ensemble des périodes. Dans les contraintes (4.53), seulement les lundi, mercredi et jeudi après-midi sont considérés. En (4.54), il n'y a que les vendredis après-midi. Finalement, les contraintes (4.55) s'appliquent aux périodes de EBUS.

4.6 Contraintes reliées au SGB

Chaque semaine, deux infirmières doivent être affectées en SGB (salles de garde 2 et 3 de Bowen). Elles feront alors un des deux patrons définis dans le tableau 3.3. Pour modéliser cette situation, des contraintes souples et des contraintes dures sont nécessaires. Il faut d'abord créer deux nouveaux ensembles de variables intermédiaires telles que :

$$e_{i\eta}^k = \begin{cases} 1 & \text{si l'inf. } i \in IS^{ercp} \text{ est affectée en SGB selon le patron } k \text{ à la semaine } \eta, \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (4.56)$$

et

$$r_{ip}^k = \begin{cases} 1 & \text{si l'inf. } i \in IS^{ercp} \text{ remplace en SGB à la pér. } p \in P \text{ une inf. qui fait le patron } k, \\ 0 & \text{sinon.} \end{cases} \quad (4.57)$$

Il est important de rappeler qu'une infirmière affectée en SGB travaille également en ERCP et doit donc avoir les qualifications requises. Ainsi à chaque semaine η , un patron k peut se voir affecter une seule infirmière spécialisée en ERCP ayant un poste à temps complet ou à temps partiel. Toutefois, les infirmières de l'équipe volante spécialisées ne doivent pas être affectées à un patron (mais elles pourront remplacer en SGB). Ces contraintes s'écrivent :

$$\sum_{i \in (TC \cup TP) \cap IS^{ercp}} e_{i\eta}^k \leq 1 \quad \forall \eta \in \{1, 2, 3, 4\}, k \in \{1, 2\} \quad (4.58)$$

$$\sum_{i \in EV \cap IS^{ercp}} \sum_{\eta=1}^4 \sum_{k=1}^2 e_{i\eta}^k = 0. \quad (4.59)$$

L'indice η peut avoir seulement quatre valeurs allant de 1 à 4 correspondant aux quatre semaines de l'horaire. Dans les prochaines contraintes, cet indice est remplacé par la fonction $w(p)$ dans la variable $e_{i\eta}^k$ afin de s'assurer que seulement une des deux variables parmi $e_{iw(p)}^k$ et r_{ip}^k prenne une valeur de 1 quand une infirmière est en SGB :

$$r_{ip}^1 + e_{iw(p)}^1 = x_{is_2p} \quad \forall i \in IS^{ercp}, p \in \{2, 4, 12, 14, 22, 24, 32, 34\} \quad (4.60)$$

$$r_{ip}^1 + e_{iw(p)}^1 = x_{is_3p} \quad \forall i \in IS^{ercp}, p \in \{6, 8, 10, 16, 18, 20, 26, 28, 30, 36, 38, 40\} \quad (4.61)$$

$$r_{ip}^2 + e_{iw(p)}^2 = x_{is_3p} \quad \forall i \in IS^{ercp}, p \in \{2, 4, 12, 14, 22, 24, 32, 34\} \quad (4.62)$$

$$r_{ip}^2 + e_{iw(p)}^2 = x_{is_2p} \quad \forall i \in IS^{ercp}, p \in \{6, 8, 10, 16, 18, 20, 26, 28, 30, 36, 38, 40\}. \quad (4.63)$$

Comme la somme des variables r_{ip}^k est minimisée dans la fonction objectif (voir la section 4.7.2), l'affectation de patrons sera favorisée.

Pour que l'affectation en SGB soit distribuée équitablement, une infirmière peut se voir attribuer un seul patron au cours du mois

$$\sum_{\eta=1}^4 \sum_{k=1}^2 e_{i\eta}^k \leq 1 \quad \forall i \in (TC \cup TP) \cap IS^{ercp}. \quad (4.64)$$

Toujours pour la question de la rotation, il faut s'assurer qu'une infirmière qui a été affectée en SGB la dernière semaine avant l'horaire (avec $H_i^{SGBs} = 1$) ne soit pas réaffectée en SGB à la première semaine de l'horaire. Elle pourra l'être à la deuxième, troisième ou quatrième, mais cette contrainte assure une pause d'au moins une semaine pour les infirmières ayant un poste et celles de l'équipe volante :

$$\sum_{k=1}^2 e_{i1}^k + H_i^{SGBs} \leq 1 \quad \forall i \in (TC \cup TP) \cap IS^{ercp} \quad (4.65)$$

$$\sum_{i \in EV \cap IS^{ercp} | H_i^{SGBs} = 1} \sum_{p=0}^{10} \sum_{k=1}^2 r_{ip}^k = 0. \quad (4.66)$$

De plus, une infirmière qui n'a pas eu un patron en SGB au cours du mois qui précède l'horaire (avec $H_i^{SGBm} = 0$) doit absolument faire un patron au cours du mois en cours, mais seulement si elle est disponible au moins 2 semaines (20 périodes)

$$\sum_{\eta=1}^4 \sum_{k=1}^2 e_{i\eta}^k + H_i^{SGBm} \geq 1 \quad \forall i \in (TC \cup TP) \cap IS^{ercp} | \sum_{p \in P} D_{ip} \geq 20. \quad (4.67)$$

Finalement, au cours d'une semaine, il faut que ce soit l'infirmière la plus ancienne des

deux affectées en SGB qui travaille le vendredi dans la salle s_3 . Pour une même semaine, il faut donc que ce soit l'infirmière la plus ancienne qui ait le premier patron, ce qui est possible via la contrainte suivante :

$$\sum_{i \in (TC \cup TP) \cap IS^{ercp}} Anc_i \cdot e_{i\eta}^1 \geq \sum_{i \in (TC \cup TP) \cap IS^{ercp}} Anc_i \cdot e_{i\eta}^2 \quad \forall \eta \in \{1, 2, 3, 4\}. \quad (4.68)$$

4.7 Fonction objectif

La fonction objectif permet de considérer les différents objectifs que se donne l'AIC lorsqu'elle établit l'horaire. Certaines situations sont favorisées, comme les journées complètes dans la même salle, alors que d'autres sont à éviter, comme l'affectation de l'infirmière fictive. De plus, lorsqu'il y a une infirmière en intégration, selon la progression de sa formation, certaines affectations devront être favorisées. La fonction objectif à minimiser présentée dans cette section est donc composée des éléments suivants :

- somme des situations à favoriser ;
- somme des situations à éviter ;
- somme des situations à favoriser pour l'infirmière en intégration.

4.7.1 Situations à favoriser

Étant donné que la fonction objectif doit être minimisée, les sommes représentant des situations à favoriser sont précédées d'un coefficient négatif. Certains objectifs à atteindre étant plus importants que d'autres, ils sont pondérés via la valeur des coefficients ω .

Tel qu'expliqué à la section 4.5.1, un des objectifs de l'AIC est de donner des journées complètes dans les salles de clinique et dans la salle s_2 les mardis. Cet objectif est atteint via l'inclusion de cette somme dans la fonction objectif :

$$-\omega_1 \left(\sum_{i \in I} \sum_{s \in SC} \sum_{j \in J} y_{isj} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in \{2, 7, 12, 17\}} y_{is_2j} \right).$$

Dans la section 4.5.2, la variable z_{ip} est présentée et est utilisée dans cette somme afin de favoriser l'affectation des infirmières de garde à la salle de garde de Fleurimont :

$$-\omega_2 \left(\sum_{i \in TC \cup TP} \sum_{p \in P} z_{ip} \right).$$

Un autre objectif est de favoriser l'affectation des infirmières de l'équipe volante (EV) à la salle de récupération s_r et, si elles ne peuvent pas, ce sont les infirmières les plus anciennes

qui sont favorisées. Pour y parvenir, un poids plus important est donné aux infirmières de l'ensemble EV , équivalent à l'ancienneté de l'infirmière la plus ancienne ($\overline{Anc} = \max_{i \in I} Anc_i$) plus un, dans la somme suivante :

$$-\omega_3 \left(\sum_{i \in EV} \sum_{p \in P} (\overline{Anc} + 1) \cdot x_{isrp} + \sum_{i \notin EV} \sum_{p \in P} Anc_i \cdot x_{isrp} \right).$$

Certaines infirmières, celles de l'ensemble IG , sont favorisées dans les salles de clinique où il y a un médecin gastro-entérologue via la somme suivante :

$$-\omega_4 \left(\sum_{i \in IG} \sum_{m \in MG} \sum_{s \in SC} \sum_{p \in P} A_{msp} \cdot x_{isp} \right).$$

Finalement, la dernière situation à favoriser est l'affectation prioritaire des infirmières de l'ensemble IP en ERCP le vendredi PM dans la salle fictive s_f et ensuite les infirmières par ordre d'ancienneté. La somme utilisée dans la fonction objectif est la suivante :

$$-\omega_5 \left(\sum_{i \in IP} \sum_{p \in PV} (\overline{Anc} + 1) \cdot x_{isfp} + \sum_{i \notin IP} \sum_{p \in PV} Anc_i \cdot x_{isfp} \right)$$

où PV représente les périodes du vendredi PM, c'est-à-dire quand $p = \{10, 20, 30, 40\}$. À noter que l'ensemble IP est inclus dans l'ensemble des infirmières ayant un poste et spécialisées en ERCP ($(TC \cup TP) \cap IS^{ercp}$).

4.7.2 Situations à éviter

Les sommes représentant des situations à éviter sont précédées d'un coefficient ω positif étant donné que la fonction objectif doit être minimisée. Comme pour les situations à favoriser, certains objectifs sont plus significatifs et auront donc un poids plus important.

Si le besoin en infirmières est plus grand que le nombre d'infirmières affectées à l'UED, la solution doit tout de même être réalisable. Il existe donc une infirmière fictive i_f pour combler ces manques et dont l'affectation est très couteuse dans la fonction objectif :

$$\omega_6 \left(\sum_{s \in SC} \sum_{p \in P} x_{i_fsp} \right).$$

L'AIC souhaite aussi éviter les surplus de personnel, c'est-à-dire l'affectation d'infirmières

à la salle s_s . Toutefois, s'il y a un surplus, il sera donné en priorité à l'infirmière i_s :

$$(\omega_7 + 1) \left(\sum_{i \in I \setminus \{i_s\}} \sum_{p \in P} x_{is_p} \right) + \omega_7 \left(\sum_{p \in P} x_{is_s p} \right).$$

Évidemment au sein de l'UED, les infirmières qui ont des postes à temps complet ou partiel doivent être favorisées par rapport à celles de l'équipe volante. Le modèle affectera ces dernières en dernier recours via la somme suivante :

$$\omega_8 \left(\sum_{i \in EV} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} x_{isp} \right).$$

Tel qu'expliqué dans la section 4.6, un autre objectif est d'éviter les remplacements en SGB, c'est-à-dire quand une infirmière spécialisée en ERCP en remplace une autre qui a un patron en SGB. Toutefois, s'il y a un remplacement, il sera donné en priorité aux infirmières de l'ensemble IP et ensuite aux infirmières les plus anciennes. La valeur de 50 utilisée dans la somme suivante est déterminée en fonction du nombre maximal d'années d'ancienneté qu'une infirmière peut accumuler (qui ne peut pas dépasser 49 ans) :

$$\omega_9 \left(\sum_{i \in IS^{ercp} \setminus IP} \sum_{p \in P} \sum_{k=1}^2 (51 - Anc_i) \cdot r_{ip}^k + \sum_{i \in IP} \sum_{p \in P} \sum_{k=1}^2 (50 - \overline{Anc}) \cdot r_{ip}^k \right).$$

Afin de favoriser une rotation des spécialisations, les infirmières qui ont un historique moins important dans une spécialisation seront favorisées lors de la création de l'horaire. Dans le cas du EBUS, l'affectation des infirmières qui ont un historique H_i^{ebus} plus grand est évitée via la somme suivante :

$$\omega_{10} \left(\sum_{i \in IS^{ebus}} \sum_{p \in PE} H_i^{ebus} (x_{is_b p} + x_{is_f p}) \right).$$

Un autre objectif est d'éviter que les infirmières qui ont un historique plus grand en écho-endo soient affectées dans la salle s_5 :

$$\omega_{11} \left(\sum_{i \in IS^{echo}} \sum_{p \in P} H_i^{echo} \cdot x_{is_5 p} \right).$$

Étant donné que chaque mois les infirmières qui travaillent au sein de l'UED ne sont pas exactement les mêmes, l'historique de travail avec les médecins est connu seulement pour

celles qui y travaillent le plus souvent, soit les infirmières spécialisées en ERCP. L'AIC évite que celles ayant un historique plus grand avec un médecin particulier (MP) soient affectées avec ce médecin via la somme suivante :

$$\omega_{12} \left(\sum_{i \in I^{Sercp}} \sum_{m \in MP} H_{im} \cdot \left(\sum_{s \in SC} \sum_{p \in P} A_{msp} \cdot x_{isp} \right) \right).$$

Finalement, il est préférable que des infirmières considérées comme nouvelles ne travaillent pas en même temps en ERCP et en EBUS. Cette situation est représentée via les variables intermédiaires n_{ip}^k présentées dans la section 4.5.3 qui sont pénalisées dans la fonction objectif :

$$\omega_{13} \left(\sum_{i \in IN} \sum_{p \in P1} n_{ip}^1 + \sum_{i \in IN} \sum_{p \in PV} n_{ip}^2 + \sum_{i \in IN} \sum_{p \in PE} n_{ip}^3 \right)$$

où $P1$ représente les périodes du lundi, mercredi et jeudi en après-midi, c'est-à-dire quand $p = \{2, 6, 8, 12, \dots, 38\}$, PV représente les périodes du vendredi après-midi, c'est-à-dire quand $p = \{10, 20, 30, 40\}$ et où PE représente les périodes de EBUS.

4.7.3 Situations à favoriser lors de l'intégration

Lorsqu'une infirmière i_t est en intégration, selon les progrès de sa formation, l'AIC souhaite l'affecter à des salles de spécialisations précises. Le paramètre F_η permet justement de savoir à quelle étape du processus l'infirmière est rendue à chacune des quatre semaines $\eta = \{1, 2, 3, 4\}$. Ainsi, s'il y a de la formation, cette somme doit être ajoutée à la fonction objectif :

$$-\omega_{14} \left(\sum_{\eta=1}^4 d_\eta^F(x) \right).$$

où

$$d_\eta^F(x) = \begin{cases} d_\eta^{clin}(x) & \text{si } F_\eta \text{ est un statut où l'infirmière est formée en clinique} \\ d_\eta^{bron}(x) & \text{si } F_\eta \text{ est un statut où l'infirmière est formée en broncho} \\ d_\eta^{ercp}(x) & \text{si } F_\eta \text{ est un statut où l'infirmière est formée en ERCP} \\ d_\eta^{echo}(x) & \text{si } F_\eta \text{ est un statut où l'infirmière est formée en écho-endo} \\ d_\eta^{ebus}(x) & \text{si } F_\eta \text{ est un statut où l'infirmière est formée en EBUS} \end{cases}$$

avec

$$\begin{aligned}
d_{\eta}^{clin}(x) &= \sum_{m \in MG} \sum_{s \in SC} \sum_{p \in P} A_{msp} \cdot x_{i_t s p} \\
d_{\eta}^{bron}(x) &= \sum_{p \in W_{\eta}} x_{i_t s_b p} \\
d_{\eta}^{ercp}(x) &= \sum_{k=1}^2 e_{i_t \eta}^k \text{ où } e \text{ est défini dans la section 4.6 et dépend de } x \\
d_{\eta}^{echo}(x) &= \sum_{p \in W_{\eta}} x_{i_t s_5 p} \\
d_{\eta}^{ebus}(x) &= \sum_{p \in W_{\eta}^{ebus}} x_{i_t s_b p} + \sum_{p \in W_{\eta}^{ebus}} x_{i_t s_f p}.
\end{aligned}$$

Si l'infirmière i_t doit être formée dans les salles de clinique, il est préférable qu'elle soit avec un médecin gastro-entérologue (MG). Pour ce qui est du ERCP, l'infirmière est favorisée pour avoir un patron en SGB, c'est-à-dire dans les salles s_3 et s_2 où il y a l'ERCP. Finalement, pour les autres spécialisations (broncho, écho-endo et EBUS), l'infirmière en intégration est favorisée pour être dans ces salles respectives.

CHAPITRE 5

RÉSULTATS NUMÉRIQUES

Dans cette section, le modèle proposé est d'abord testé *a posteriori* sur quatre instances du problème et une d'entre elles est analysée en détail. Pour les mois de février et mars, l'auteure de ce projet a utilisé le programme développé afin de remplacer la méthode manuelle. Suite aux commentaires de l'AIC, la formulation du modèle a pu être améliorée.

Étant donné que le programme développé dans le cadre de ce projet sera utilisé par l'AIC pour réaliser ses horaires, l'utilisation d'un solveur commercial comme Cplex n'est pas envisageable parce que la licence est trop coûteuse. Le modèle est donc résolu à l'aide du solveur gratuit CBC (2012) de COIN-OR utilisant un algorithme de séparation et d'évaluation progressive. Towhidi et Orban (2012) ont développé un outil convivial qui permet de créer un modèle et de le résoudre à l'aide de CBC en utilisant le langage de programmation Python : CyLP. Cet outil a été utilisé dans le cadre du présent projet.

5.1 Résultats préliminaires

Afin de vérifier la validité du modèle développé, il a été testé pour la confection des horaires de quatre mois de juillet à octobre 2012. Une analyse plus détaillée de l'instance du mois d'octobre est d'abord présentée notamment en termes de nombre de variables et de contraintes. Cette section permet aussi de comparer les horaires créés via le programme et ceux réalisés par l'AIC.

5.1.1 Horaire d'un mois typique

Pour illustrer la difficulté du problème à résoudre, la confection de l'horaire du mois d'octobre est utilisée comme exemple. Pour ce mois, il y a 12 infirmières qui travaillent au sein de l'UED. Parmi celles-ci, quatre ont un poste à temps complet et trois sont à temps partiel. Les autres infirmières font partie de l'équipe volante. Il y a également une infirmière en intégration qui doit être dans les salles de clinique pour les quatre semaines ($F_\eta = \text{Clinique } \forall \eta$).

Cette instance du problème comporte 9560 variables présentées dans le tableau 5.1 où les variables sont classées selon leur type. Les variables principales correspondent aux variables d'affectation x_{isp} qui sont d'ailleurs les seules à être binaires dans le modèle. Pour les autres variables, elles sont secondaires parce que leur valeur dépend d'une situation spécifique définie dans la colonne utilité. Les variables reliées au SGB sont entières, alors que les autres

variables ne sont pas spécifiées comme étant binaires ou entières (afin de réduire le temps de résolution) puisque, lorsque les variables principales sont entières, celles-ci le deviennent automatiquement via les contraintes logiques. Les autres colonnes permettent d'identifier le nom de la variable et le numéro de référence tels que présentés dans le modèle ainsi que le nombre de variables.

Tableau 5.1 Nombre de variables

Type	Utilité	Nom	N°	Nombre
Principales	Affectation	x_{isp}	4.1	6760
Secondaires	Journées complètes des inf. $i \in TPDJ$	b_{ij}	4.28	20
	Journées complètes dans la même salle	y_{isj}	4.41	1612
	Garde à Fleurimont	z_{ip}	4.48	280
	Infirmières nouvelles ensemble	n_{ip}^k	4.52	96
	Patrons en SGB	$e_{i\eta}^k$	4.56	72
	Remplacements en SGB	r_{ip}^k	4.57	720
				9560

Les contraintes dures sont présentées dans le tableau 5.2 où la première colonne permet de savoir quelle est l'utilité de chacune de ces contraintes. Les autres colonnes indiquent le type, c'est-à-dire s'il s'agit d'une égalité ou d'une inégalité, le numéro de référence dans le modèle et le nombre de contraintes. Étant donné que les contraintes (4.10) fixent la valeur des variables de décision pour l'infirmière qui travaille toujours en récupération (i_r), elles ne sont pas comptabilisées dans le tableau. À noter aussi que plusieurs de ces contraintes sont redondantes et seront donc éliminées dès le pré-traitement.

Les contraintes souples sont présentées dans le tableau 5.3. Elles permettent de donner une valeur aux différentes variables secondaires présentées dans la colonne Utilité. Les autres colonnes présentent le type des contraintes, le numéro de référence dans le modèle et le nombre de contraintes. Étant donné que les contraintes (4.49) sont des bornes sur les variables z_{ip} , elles ne sont pas comptabilisées dans le tableau.

Finalement, les contraintes dures et souples reliées aux patrons en SGB sont présentées dans le tableau 5.4 en fonction de leur utilité, de leur type, de leur numéro de référence et de leur nombre. Pour le mois d'octobre, l'affectation des infirmières dans les salles de garde 2 et 3 de l'édifice Bowen nécessite 394 contraintes.

Au total, le problème présente 9560 variables et 8257 contraintes. Il est ainsi possible de calculer la densité définie par le nombre de coefficients différents de zéro divisé par le nombre de coefficients au total, soit le nombre de contraintes multiplié par le nombre de variables. Plus la densité est élevée, plus la proportion de coefficients différents de zéro est grande et le problème peut alors être plus difficile à résoudre. Tel qu'expliqué dans le livre *Large*

Tableau 5.2 Nombre de contraintes dures

Utilité	Type	N°	Nombre
Affectation	=	4.2	480
Disponibilité inf. $i \in TC$	=	4.3	160
Disponibilité inf. $i \in TP \cup EV$	$\leq$	4.4	320
Temps de travail min.	$\geq$	4.5-4.6	6
Équipe inf.-méd.	=	4.7	13
Rotation méd. particuliers	$\leq$	4.8	72
Récupération	$\leq$	4.9	44
Spécialisation en ERCP	=	4.11-4.13	3
Spécialisation en Écho-endo	=	4.14	1
Rotation en Écho-endo	$\leq$	4.15	9
Spécialisation en Broncho	=	4.16	1
Rotation en Broncho	$\leq \geq$	4.17-4.18	45
Spécialisation en EBUS	=	4.19	1
Rotation en EBUS	$\leq$	4.20	36
Journées complètes (salles s_2, s_3, s_r, s_g, s_b)	=	4.21-4.26	831
Journées complètes inf. $i \in TPJ$	=	4.27	40
Contraintes logiques pour la var. b_{ij}	$\leq \geq$	4.29-4.31	60
Journées complètes inf. $i \in TPDJ$	=	4.32-4.33	170
Journées complètes inf. $i \in EV$	=	4.34	45
Infirmière fictive	=	4.35	1
Infirmière en intégration en binôme	=	4.36	0
Infirmières intégratrices en binôme	=	4.37-4.38	0
Infirmière en intégration en clinique	=	4.39	1
Rotation méd. avec l'inf. en intégration	$\leq$	4.40	32
Total des égalités	=		1747
Total des inégalités	$\leq \geq$		624

2371

Tableau 5.3 Nombre de contraintes souples

Utilité	Type	N°	Nombre
Contraintes logiques pour la var. y_{isj}	$\leq \geq$	4.42-4.47	4836
Contraintes logiques pour la var. z_{ip}	$\leq \geq$	4.50-4.51	560
Contraintes logiques pour la var. n_{ip}^k	$\geq$	4.53-4.55	96

5492

Tableau 5.4 Nombre de contraintes reliées au SGB

Utilité	Type	N°	Nombre
Inf. $i \in TC \cup TP$	$\leq$	4.58	8
Inf. $i \in EV$	$=$	4.59	1
Affectation des inf. en SGB	$=$	4.60-4.63	360
Rotation en SGB	$\leq$	4.64	7
Historique semaine passée pour inf. $i \in TC \cup TP$	$\leq$	4.65	7
Historique semaine passée pour inf. $i \in EV$	$=$	4.66	0
Historique mois passé	$\geq$	4.67	7
Ancienneté	$\geq$	4.68	4
Total des égalités	$=$		361
Total des inégalités	$\leq \geq$		33

394

Scale Linear and Integer Optimization : A Unified Approach, les problèmes réels ont une densité faible, ce qui est effectivement le cas avec le modèle initial qui présente une densité d'environ 0.04%. Chaque problème a été résolu avec les solveurs CBC et Cplex (IBM ILOG CPLEX Interactive Optimizer 12.5) afin de les comparer, bien que l'AIC utilisera seulement le premier. Les pré-traitements des solveurs CBC et Cplex permettent d'éliminer un grand nombre de variables (il reste 3420 variables avec CBC et 3296 avec Cplex) et de contraintes (il reste 3048 contraintes avec CBC et 2804 avec Cplex) et d'augmenter la densité à environ 0.1%.

Les poids utilisés dans la fonction objectif sont présentés dans le tableau 5.5. Chacune des situations à favoriser et à éviter est nommée avec le poids ω correspondant. Ils ont été choisis en collaboration avec l'AIC afin de déterminer quels objectifs étaient plus importants. Il n'était pas nécessaire de les déterminer avec précision pour que l'horaire généré soit satisfaisant. Pour chaque problème, l'AIC pourra déterminer les poids dans le fichier de données et les ajuster au besoin. Par exemple, si une situation qu'elle souhaite éviter se produit, elle pourra augmenter le poids et résoudre à nouveau le problème.

Tableau 5.5 Poids dans la fonction objectif

Situations à favoriser		
Journées complètes	ω_1	1000
Garde à Fleurimont	ω_2	100
Affectation en récup.	ω_3	1
Affectation avec méd. gastro.	ω_4	1
Affectation en ERCP	ω_5	1
Intégration	ω_{14}	100
Situations à éviter		
Affectation inf. fictive i_f	ω_6	10000
Surplus de personnel	ω_7	1000
Affectation inf. $i \in EV$	ω_8	100
Remplacements en SGB	ω_9	10
Rotation EBUS	ω_{10}	10
Rotation Écho-endo	ω_{11}	1
Rotation méd. particuliers	ω_{12}	1
Infirmières nouvelles	ω_{13}	100

Avantages de la méthode proposée

Le programme développé dans le cadre de ce projet présente de nombreux avantages en comparaison à la méthode manuelle. En plus de respecter toutes les contraintes, l'horaire généré considère différents objectifs selon leur importance respective. Ces objectifs sont les situations à favoriser et à éviter dans la fonction objectif. Ainsi, pour chacun d'eux une comparaison entre l'horaire généré par le programme et celui fait à la main est présentée dans le tableau 5.6. Dans tous les cas, la méthode proposée fait mieux (le résultat est alors en gras) ou est équivalente à la méthode manuelle.

Pour la première situation à favoriser, c'est-à-dire les journées complètes, le résultat est le même pour les deux méthodes. Ce qui s'explique par le fait qu'à chaque fois qu'il est possible de donner une journée complète dans la même salle, l'AIC et le modèle le font. Un premier avantage de la solution obtenue par l'optimisation est que l'infirmière de garde est plus souvent affectée à la salle de garde de Fleurimont. En fait, elle y est tous les jours parce qu'il y a un jour férié dans le mois. Un autre avantage est que les infirmières de l'équipe volante sont affectées plus souvent en récupération. D'ailleurs, les journées où ce n'est pas une infirmière de l'équipe volante qui est en récupération, celle affectée par le programme a toujours plus d'ancienneté que celle qui est dans l'horaire manuel. Ce qui est également le cas pour les journées où ce n'est pas une infirmière favorisée en ERCP qui est affectée en ERCP le vendredi après-midi. Finalement, le programme donne de meilleurs résultats pour

l'affectation des infirmières favorisées en gastroentérologie et des résultats équivalents pour l'infirmière en intégration.

Pour les situations à éviter, le nombre d'affectations de l'infirmière fictive est identique pour les deux méthodes parce qu'à chaque fois qu'il y a une pénurie de personnel, elle est comblée par cette infirmière. Pour les surplus de personnel, le résultat est le même pour cet horaire. Comme les surplus sont généralement causés par la différence de besoin en personnel infirmier entre l'avant-midi et l'après-midi, il est possible de les éviter en donnant des demi-journées de travail. Certaines infirmières peuvent faire des demi-journées, mais seulement quand il n'y a pas d'infirmières de l'équipe volante. Comme il manque de personnel ayant des postes en ce moment au sein de l'UED, l'équipe volante est utilisée tous les jours, ce qui ne permet pas une flexibilité pour les demi-journées. Toutefois, d'ici quelques mois, des postes seront pourvus au sein de l'UED ce qui permettra de réduire les recours aux infirmières de l'équipe volante et donc d'éviter certains surplus. Pour ce qui est du nombre d'affectations des infirmières de l'équipe volante, le résultat est le même pour les deux méthodes. Dans l'éventualité d'un surplus de personnel, ce qui n'est pas le cas pour l'horaire d'octobre, la fonction objectif permet d'éviter l'affectation de ces infirmières. Un autre avantage du programme est qu'il permet de réduire le nombre de remplacements en SGB, ce qui assure qu'une infirmière affectée à un patron en SGB y travaillera pour la semaine. Il y a également des gains quant à la rotation dans les différentes spécialisations et avec les médecins particuliers. Pour l'EBUS par exemple, l'écart type du nombre de fois que les infirmières ont travaillé en EBUS au cours du mois d'octobre (et les trois mois précédents) est calculé pour les deux méthodes. Finalement, le programme permet d'éviter que deux infirmières nouvelles travaillent en même temps en ERCP.

En plus de respecter les objectifs de manière équivalente ou plus satisfaisante, le modèle développé permet de s'assurer qu'aucune contrainte dure ne soit violée, ce qui n'est pas toujours le cas pour l'horaire fait à la main. En effet, la contrainte d'équipe a été violée une fois dans l'horaire fait à la main, ainsi une infirmière et un médecin travaillaient ensemble et ne pouvaient pas manipuler le scope. L'AIC a dû faire une modification à la dernière minute pour corriger cette erreur. Deux infirmières ont travaillé trois périodes en écho-endo dans l'horaire manuel, alors qu'il y a une limite à deux périodes dans le modèle proposé, ce qui permet d'assurer une meilleure rotation et un maintien de l'expertise. Deux infirmières ont également travaillé deux journées en broncho et en EBUS au cours de la même semaine, ce qui n'est pas possible avec le modèle parce qu'il y a une limite d'une journée par semaine. De plus, une infirmière ayant les qualifications requises pour travailler en broncho n'a jamais été affectée dans cette salle dans l'horaire manuel. Finalement, l'infirmière en intégration a été affectée à deux reprises avec un même médecin durant trois périodes, ce qui est évité avec

Tableau 5.6 Comparaison des méthodes

Situations à favoriser	Méthode proposée	Méthode manuelle
Nb de jours complets dans les salles de cliniques	65	65
Nb de jours où l'inf. de garde est de garde à Fleurimont	19	16
Nb de jours où une inf. $\in EV$ est en récup. (sauf inf. i_r)	5	1
Nb de pér. où une inf. $\in IG$ est avec un méd gastro.	10	7
Nb de pér. où une inf. $\in IP$ est en ERCP le vend. PM	1	0
Nb de pér. où l'inf. i_t est avec un méd gastro.	13	13
Situations à éviter		
Nb de pér. où l'inf. i_f est affectée	15	15
Nb de pér. où il y a un surplus de personnel	3	3
Nb de pér. où une inf. $\in EV$ est affectée	88	88
Nb de jours où il y a un remplacement en SGB	5	13
Écart type du nb de pér. où une inf. est en EBUS	2.236	3.873
Écart type du nb de pér. où une inf. est en Écho-endo	0.928	1.833
Moy. des écarts type des inf. avec méd. particuliers	1.529	2.093
Nb de pér. où deux inf. $\in IN$ sont ensemble (EBUS-ERCP)	0	1

le modèle proposé. De cette façon, l'infirmière en intégration peut travailler avec une plus grande diversité de médecins et elle apprend davantage. En plus d'empêcher des situations non souhaitées, les contraintes dures permettent d'éviter des erreurs d'inattention qui peuvent survenir lorsque l'horaire est fait à la main, comme affecter une infirmière à deux salles au même moment.

5.1.2 Horaires pour quatre instances

Le tableau 5.7 présente une synthèse des problèmes d'horaire de juillet à octobre 2012 avec le nombre de variables, de contraintes et la densité du modèle initial et après le pré-traitement de CBC et Cplex. Le temps de résolution (obtenu sur un ordinateur ayant un processeur Intel Core i7-980X) et la valeur de la fonction objectif sont également présentés pour chaque instance. Chaque mois, le nombre de variables et de contraintes diffère en raison notamment du nombre d'infirmières qui travaillent au sein de l'UED. De plus, il y a une grande disparité entre les valeurs de la fonction objectif pour les différentes instances même si les poids ω étaient les mêmes, ce qui s'explique par la variation quant au nombre d'affectations de l'infirmière fictive. À noter que le nombre de variables pour le mois d'octobre est plus grand (de 3032 variables) que celui présenté dans la section 5.1.1 parce qu'il y a plusieurs variables secondaires qui sont créées dans le programme sans être ensuite intégrées à des contraintes. Ces variables sont donc éliminées dès le pré-traitement.

Tableau 5.7 Synthèse des quatre instances

Instance		Modèle initial	CBC	Cplex
Juillet (12 inf.)	Nombre de variables	12800	2514	2397
	Nombre de contraintes	8278	2088	1905
	Densité (%)	0.035	0.182	0.193
	Temps de résolution		2m 43s	1.9s
	Fonction objectif		-23954	-23954
Août (14 inf.)	Nombre de variables	14400	2417	2274
	Nombre de contraintes	9225	2137	1906
	Densité (%)	0.032	0.177	0.185
	Temps de résolution		1m 58s	0.3s
	Fonction objectif		82171	82171
Septembre (15 inf.)	Nombre de variables	14992	3055	2931
	Nombre de contraintes	9650	2713	2505
	Densité (%)	0.032	0.146	0.150
	Temps de résolution		2m 31s	2.3s
	Fonction objectif		-32517	-32516
Octobre (12 inf.)	Nombre de variables	12592	3420	3296
	Nombre de contraintes	8267	3048	2804
	Densité (%)	0.037	0.133	0.132
	Temps de résolution		4m 20s	2.4s
	Fonction objectif		90689	90689

Le programme développé dans le cadre de ce projet présente de nombreux avantages par rapport à la méthode manuelle. En plus de ceux présentés dans le tableau 5.6, il permet de réduire le temps nécessaire à la création de l'horaire mensuel. L'AIC prend une demi-journée pour réaliser l'horaire (si elle se consacre uniquement à cette tâche), alors qu'avec le programme, il pourra être généré en quelques minutes. En effet, le temps de résolution moyen pour les quatre instances avec CBC est de 2 min 53 s. Les coupes de Gomory (Wolsey, 1998) ont été utilisées, car elles ont permis de réduire le temps de résolution, contrairement aux autres coupes offertes par le solveur CBC.

En plus de réduire le temps nécessaire à la création de l'horaire, le principal avantage de cette méthode, dans l'éventualité où les infirmières de l'équipe volante ne travailleraient pas tous les jours, est qu'elle permettrait aussi de réduire les coûts de personnel en évitant des surplus. De plus, tant que l'horaire n'est pas présenté au personnel infirmier, l'AIC peut faire des modifications et générer un nouvel horaire en peu de temps. Par exemple, s'il y a eu des changements de disponibilités, il est facile de faire les modifications dans le fichier de données et de résoudre à nouveau.

En somme, la méthode proposée permet de considérer simultanément tous les objectifs

que se donne l'AIC. Elle permet notamment une meilleure rotation du personnel dans les différentes spécialisations de l'UED. De cette façon, les infirmières conservent leur expertise et ont une meilleure perception d'équité. Il y a également une meilleure rotation du travail avec les médecins particuliers.

5.2 Résultats lors de l'utilisation réelle

Dans la section précédente, l'horaire a été généré par le programme après qu'il ait été réalisé à la main par l'AIC, ce qui a permis de comparer les deux méthodes. Pour le mois de février et mars 2013, l'horaire a été créé par le programme afin de remplacer la méthode manuelle, ce qui a permis de faire quelques ajustements au modèle.

Pour le mois de février, il a fallu refaire l'horaire deux fois pour qu'il soit finalement satisfaisant. La première fois, certaines infirmières étaient considérées spécialisées en EBUS alors qu'elles ne l'étaient pas dans la réalité. Le fichier de données a été modifié pour qu'elles ne soient plus affectées en EBUS. Suite à cette modification, les disponibilités des infirmières avaient changé et une infirmière de l'équipe volante était disponible seulement une demi-journée. Il a donc fallu modifier les contraintes (4.34) qui s'appliquaient auparavant tous les jours où l'infirmière est disponible en avant-midi, pour qu'elles s'appliquent seulement quand elle est disponible toute la journée. Le problème a été résolu à nouveau et l'horaire appliqué tel quel par l'AIC. Au cours du mois de février et suite aux commentaires de l'AIC, le modèle a aussi été modifié pour tenir compte du fait que si les infirmières de l'équipe volante ont travaillé en ERCP la dernière semaine avant l'horaire, elles ne pourront pas remplacer en SGB la première semaine de l'horaire. Les contraintes (4.66) ont donc été ajoutées au modèle.

Pour le mois de mars, il a aussi fallu faire des corrections de certaines valeurs dans le fichier de données. Le modèle a également dû être légèrement modifié. Auparavant, dans les contraintes (4.11), seulement les périodes du lundi, mercredi et jeudi étaient considérées, de sorte qu'une infirmière non spécialisée pouvait travailler dans la salle de garde 2 le mardi et le vendredi. Toutefois, même s'il n'y a pas de ERCP dans cette salle au cours de ces journées, il faut que l'infirmière qui y travaille soit spécialisée. La contrainte s'applique maintenant à toutes les périodes.

Dans les deux cas, l'AIC a affiché les horaires tels que générés par le programme (un exemple pour la première semaine de l'horaire est présenté en annexe C). Ensuite, il y a eu des modifications, mais il s'agissait alors de réajustements de l'horaire. Le tableau 5.8 présente une synthèse des résultats pour ces deux horaires en fonction du modèle mis à jour, donc celui de février ne correspond pas exactement à celui qui a été donné à l'AIC. Certains poids ω dans la fonction objectif différent de ceux présentés au tableau 5.5, ils ont été ajustés dans

chacun des cas pour avoir la meilleure solution. Le problème traité dans ce projet étant de nature combinatoire, il est possible que le temps de résolution soit plus grand pour certaines instances, ce qui est le cas pour l'horaire de mars. Le délai reste toutefois raisonnable pour la création de l'horaire mensuel.

Tableau 5.8 Synthèse des instances réelles

Instance		Modèle initial	CBC	Cplex
Février (12 inf.)	Nombre de variables	12592	3461	3336
	Nombre de contraintes	8238	3239	2984
	Densité (%)	0.037	0.124	0.121
	Temps de résolution		1m 55s	0.9s
	Fonction objectif		167075	167087
Mars (12 inf.)	Nombre de variables	12512	3358	3250
	Nombre de contraintes	8101	3085	2885
	Densité (%)	0.037	0.130	0.128
	Temps de résolution		17m 16s	5.6s
	Fonction objectif		59030	59030

CHAPITRE 6

CONCLUSION

6.1 Synthèse des travaux

Ce projet présente un problème d'affectation d'infirmières aux différentes salles de l'UED. Le problème d'horaire était auparavant géré manuellement par l'AIC, qui devait considérer simultanément la disponibilité et l'expertise des infirmières, l'horaire des médecins, la rotation du personnel ainsi que plusieurs autres objectifs. Tous ces aspects à considérer ont été définis et un modèle de programmation en nombres entiers a ainsi pu être développé. Le modèle a ensuite été testé sur quatre instances du problème et a démontré de nombreux avantages par rapport à la méthode manuelle. Le programme créé dans le cadre de ce projet a également servi à la création d'horaires satisfaisants pour l'AIC pour les mois de février et mars.

La méthode proposée nécessite moins de temps pour la création de l'horaire que la méthode manuelle. De plus, elle domine ou est équivalente pour tous les objectifs considérés par l'AIC. En effet, elle permet une meilleure rotation du personnel dans les différentes spécialisations de l'UED, ce qui assure un maintien de l'expertise et une plus grande équité de la charge de travail. L'affectation dans les différentes salles spécialisées ou avec les médecins particuliers n'est plus arbitraire, mais dépend de l'historique de chacune des infirmières. De cette façon, il est plus facile pour l'AIC de justifier l'affectation d'une infirmière dans une salle ou avec un médecin. De plus, la méthode proposée permettrait à long terme de réduire les coûts de personnel en évitant les surplus, s'il y a suffisamment d'infirmières ayant des postes pour combler la demande.

6.2 Limitations de la solution proposée

Pour ce projet, le programme a été développé de manière à ce que l'AIC puisse définir la valeur de certains paramètres comme la disponibilité, les équipes infirmière-médecin et les poids dans la fonction objectif. Il est donc flexible quant aux valeurs des paramètres, mais ne permet pas d'ajouter ou d'enlever des contraintes au modèle. Il n'offre pas non plus la possibilité de fixer l'affectation d'une infirmière à une salle précise. De plus, si dans le futur une salle nécessite que deux infirmières y travaillent plutôt qu'une seule ou que deux infirmières soient en intégration, le modèle actuel ne le permet pas. Comme le modèle développé s'adapte exactement à la réalité de l'UED, il ne pourrait être utilisé au sein d'autres unités. Il faudrait

notamment enlever les contraintes reliées au SGB spécifiques aux patrons dans les salles de garde.

Étant donné que le programme développé a été testé sur un nombre restreint d'instances, il est possible que des erreurs d'exécution surviennent dans le futur. De plus, le programme a été utilisé seulement par l'auteure de ce mémoire, il faudra alors former l'AIC pour qu'elle puisse l'utiliser de la meilleure manière.

Finalement, l'analyse des résultats préliminaires a été faite sur les horaires disponibles. Ils ont été modifiés au cours du mois pour différentes raisons (congé maladie, échange de salle, etc.). Ainsi, l'horaire réalisé à la main en début de mois devait être plus près de celui généré par le programme, ce qui n'a pas été possible d'évaluer. De plus, les horaires qui ont été testés ne présentaient pas toujours une infirmière en intégration et quand il y en avait une, elle était toujours en binôme ou en formation dans les salles de clinique. Ainsi, pour les autres statuts de l'intégration, le modèle n'a pas pu être testé sur de vraies instances du problème.

6.3 Améliorations futures

De nombreux aspects de ce projet laissent place à l'amélioration. En effet, il aurait été plus pratique pour l'AIC que les paramètres comme la disponibilité des infirmières, l'affectation des médecins aux salles, l'horaire de garde, etc. soient sur un support informatique. Il serait ainsi possible d'éviter la saisie de toutes les données nécessaires à la résolution. Il aurait également été intéressant que le programme permette de définir les valeurs de certains paramètres au lieu de les considérer comme connues. Par exemple, le programme aurait pu intégrer une fonction permettant de définir l'horaire de la garde ou celui de l'affectation des médecins aux salles. Il serait aussi plus sécuritaire d'installer Linux et tous les programmes nécessaires au bon fonctionnement de la méthode proposée directement sur l'ordinateur de l'AIC et ainsi éviter de démarrer sur la clé USB.

Il pourrait également être intéressant de rendre le modèle plus flexible, car il est possible que le fonctionnement de l'UED ne reste pas toujours le même. Il pourrait éventuellement avoir davantage de salles spécialisées ou les patrons en SGB pourraient être différents. De plus, le modèle développé se base sur la méthode manuelle qu'utilisait l'AIC, mais il est possible d'affecter les infirmières en considérant des règles et des objectifs différents qui pourraient satisfaire davantage le personnel infirmier tout en respectant les contraintes de l'UED. Une option possible serait d'affecter chaque infirmière dans la même salle pour toute la semaine, ce qui n'est pas recherché par le modèle actuel.

Finalement, il aurait été intéressant de développer un modèle complémentaire permettant

des réajustements de l'horaire. Par exemple, si une infirmière ne peut pas se présenter une journée, selon la salle où elle travaille, le modèle permettrait de savoir quelle est la meilleure option pour la remplacer. Dans la réalité, il est certain que l'horaire généré par le programme au début du mois et celui que feront réellement les infirmières ne sera pas le même en raison de tous les ajustements nécessaires au cours du mois.

RÉFÉRENCES

- ABERNATHY, W. J., BALOFF, N., HERSHEY, J. C. et WANDEL, S. (1973). A three-stage manpower planning and scheduling model - a service-sector example. *Operations Research*, 21, 693–711.
- AL-YAKOOB, S. M. et SHERALI, H. D. (2007). Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations. *Annals of Operations Research*, 155, 119–142.
- AZAIEZ, M. N. et AL SHARIF, S. S. (2005). A 0-1 goal programming model for nurse scheduling. *Computers and Operations Research*, 32, 491–507.
- BOUARAB, H., CHAMPALLE, S., DAGENAIS, M., LAHRICHI, N., LEGRAIN, A. et TAOBANE, M. (2011). Nurse scheduling :from theoretical modeling to practical resolution. *SHS Student Paper Competition*.
- BURKE, E., CAUSMAECKER, P. D., BERGHE, G. V. et LANDEGHEM, H. V. (2004). The state of the art of nurse rostering. *Journal of Scheduling*, 7, 441–499.
- CARON, G., HANSEN, P. et JAUMARD, B. (1999). The assignment problem with seniority and job priority constraints. *Operations Research*, 47, 449–453.
- CAUSMAECKER, P. D. et BERGHE, G. V. (2012). Towards a reference model for time-tabling and rostering. *Annals of Operations Research*, 194, 167–176.
- CBC (2012). COIN-OR branch and cut. <https://projects.coin-or.org/cbc>.
- EISELT, H. A. et MARIANOV, V. (2008). Employee positioning and workload allocation. *Computers and Operations Research*, 35, 513–524.
- ERNST, A. T., JIANG, H., KRISHNAMOORTHY, M. et SIER, D. (2004). Staff scheduling and rostering : A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, 153, 3–27.
- HOJATI, M. et PATIL, A. S. (2011). An integer linear programming-based heuristic for scheduling heterogeneous, part-time service employees. *European Journal of Operational Research*, 209, 37 – 50.
- JAUMARD, B., SEMET, F. et VOVOR, T. (1998). A generalized linear programming model for nurse scheduling. *European Journal of Operational Research*, 107, 1–18.
- MARTIN, R. K. (1998). *Large Scale Linear and Integer Optimization : A Unified Approach*. Springer, première édition.

- OLDENKAMP, J. H. (1996). Chapter 1 - Quality of nursing schedules. *Quality in fives : on the analysis, operationalization and application of nursing schedule quality*, Rijksuniversiteit Groningen. 3–16.
- RONG, A. (2010). Monthly tour scheduling models with mixed skills considering weekend off requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 59, 334 – 343.
- TOWHIDI, M. et ORBAN, D. (2012). Customizing the solution process of COIN-OR's linear solvers with Python. *Cahiers du GERAD*. G-2012-07, GERAD, Montréal, Québec, Canada.
- TRILLING, L. (2006). *Aide à la décision pour le dimensionnement et le pilotage de ressources humaines mutualisées en milieu hospitalier*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- VAN DEN BERGH, J., BELIEN, J., BRUECKER, P. D., DEMEULEMEESTER, E. et BOECK, L. D. (2013). Personnel scheduling : A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226, 367 – 385.
- WOLSEY, L. (1998). *Integer Programming*. Wiley Series in Discrete Mathematics and Optimization. Wiley.
- YAOYUENYONG, K. et NANTHAVANIJ, S. (2005). Energy-based workforce scheduling problem : mathematical model and solution algorithms. *Science Asia*, 31, 383 – 93.

ANNEXE B

EXEMPLE D'HORAIRE DE GARDE

PÉRIODE DU 10 FÉVRIER AU 9 MARS 2013																														
Infirmières de garde	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	M	J	V	S	D	L	M	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S
Infirmière 1	10-02	11-02	12-02	13-02	14-02	15-02	16-02	17-02	18-02	19-02	20-02	21-02	22-02	23-02	24-02	25-02	26-02	27-02	28-02	01-03	02-03	03-03	04-03	05-03	06-03	07-03	08-03	09-03		
Infirmière 2		G	G	G	G																							G	G	
Infirmière 3													G	G	G															
Infirmière 4																G	G	G												
Infirmière 5												G	G	G																
Infirmière 6						G	G	G																						
Infirmière 7																					G	G								
	G																					G	G		G	G				
Besoin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Présence	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Différence	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

ANNEXE C

EXEMPLE D'HORAIRE GÉNÉRÉ PAR LE PROGRAMME

Horaire Année-Mois - Semaine 1												
	Salle8	Salle7	Salle6	Salle5	Salle4	Salle3	Salle2	Salle1	Recup.	Garde	Bron.	Over
Lun AM		F	É	R	I	É						
PM												
Mar AM	DR.H Inf. 2					Inf. 5	Inf. 1		Inf. 8	Inf. 4	Inf. 3	Inf. 6 Inf. 7
PM	DR.H Inf. 2	DR.P Inf. 6	DR.W Inf. 7				DR.B Inf. 1				EBUS Inf. 3 Inf. 5	
Mer AM	DR.P Inf. 3	DR.E Inf. 7				Inf. 1	Inf. 5		Inf. 2	Inf. 4	Inf. 6	
PM	DR.F Inf. 3	DR.E Inf. 7			DR.M Inf. 6	ERC P Inf. 1	ERC P Inf. 5					
Jeu AM	DR.V Inf. 6	DR.A Inf. 2				Inf. 1	Inf. 5		Inf. 3	Inf. 4	Inf. 7	
PM	DR.V Inf. 6	DR.B Inf. 2				ERC P Inf. 1	ERC P Inf. 5					
Ven AM	DR.C Inf. 7	DR.D Inf. 1			DR.L Inf. 2		Inf. 5		Inf. 4	Inf. 3		
PM	DR.C Inf. 7					ERC P Inf. 1 Inf. 2	Inf. 5					