

Louvain School of Management

Modélisation mathématique pour la gestion des horaires du nettoyage hospitalier

**Etude de cas sur le Centre Hospitalier EpiCURA
ASBL**

Auteur : DUDEK Antoine
Promoteur : Jean-Sébastien Tancrez
Année académique 2024-2025
Master 120 Ingénieur de gestion à finalité Supply Chain Management et
Transport & Mobilité

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur Tancrez, promoteur de ce mémoire, qui a toujours répondu présent pour m'aiguiller lorsque j'ai pu le demander et sans qui ce mémoire n'aurait pu voir le jour.

Je remercie également les membres du personnel d'EpiCURA, en particulier Maverick et François, m'ayant aidé de près ou de loin, que ce soit pour mieux comprendre le fonctionnement des équipes de nettoyage ou pour leur accompagnement au sein de leur entreprise.

Je remercie enfin Coline pour son soutien sans faille tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Table des matières

Remerciements.....	i
Introduction	iv
Partie théorique.....	1
1. Le contexte des soins de santé	1
1.1 Les modèles de systèmes de santé.....	1
1.2 Situation européenne et belge	1
1.3 Le rôle central des hôpitaux.....	2
2. Le fonctionnement hospitalier en Belgique.....	3
2.1 Types de soins et nombre de lits	3
2.2 Réseaux hospitaliers et organisation.....	3
2.3 Financement des hôpitaux	4
3. Le personnel hospitalier	5
3.1 La charge de travail	6
4. Les techniciens de surface en milieu hospitalier.....	7
4.1 Rôle et importance dans la lutte contre les IAS	7
4.2 Conditions de travail et reconnaissance	8
4.3 Organisation du travail	9
5. L'optimisation sous contraintes comme solution	10
5.1 Principes généraux.....	10
5.2 Application au secteur de la santé	11
5.3 Modèles de planification des activités de nettoyage	11
Problématique.....	13
Partie méthodologique	14
Contexte : le Centre Hospitalier EpiCURA	14
Méthodologie	15
Définition des durées de nettoyage	15
La modélisation	16
Analyse des résultats.....	17
Partie pratique.....	18
Modèle d'optimisation	18
Les affirmations	18
Les indices.....	19
Les paramètres	20
Les variables	21

Les objectifs.....	22
Les contraintes	22
Hypothèses découlant du modèle d'optimisation	25
Analyse des résultats	26
Modèle de base	26
Modèle de base avec nombre maximum d'ETPs	27
Modèle de base avec variation de N_c et/ou de N_n	28
Test des contraintes	30
Optimisation des temps de trajet	30
Comparaison avec nos hypothèses.....	33
Comparaison avec la réalité.....	34
Discussion, limites et perspectives.....	36
Conclusion	39
Bibliographie	40

Introduction

La planification efficace des ressources humaines représente un défi majeur, notamment dans les hôpitaux, en raison des contraintes multiples auxquelles sont soumis les établissements de santé. Les techniciens de surface occupent une place importante dans ce contexte de par leurs actions garantissant la propreté et prévenant le développement d'infections acquises dans les soins de santé (IAS), ce qui contribue directement à la sécurité des soins prodigués. Ce secteur des emplois en établissement de santé est pourtant sous-étudiée dans de nombreux domaines comme l'évaluation de la charge de travail ou la planification des activités de nettoyage.

Notre mémoire a pour volonté d'enrichir la littérature existante en proposant un modèle d'optimisation mathématique ayant pour but la planification et l'affectation des activités de nettoyage dans un hôpital. Ce modèle d'optimisation devra tenir compte des spécificités du terrain, des contraintes liées au nettoyage ainsi que des préférences institutionnelles en matière de planification. Nous baserons notre étude sur un cas réel, à savoir le Centre Hospitalier EpiCURA, un établissement hospitalier belge dont les 3 principaux sites sont situés à Hornu, Baudour et Ath, en Wallonie.

Notre objectif principal sera la minimisation des heures de travail afin de contenir les coûts liés au nettoyage d'un hôpital. Notre méthodologie se basera sur une modélisation des paramètres du terrain suivie de tests permettant d'analyser l'impact de différents paramètres sur l'efficacité de notre modèle.

Ce travail vise à fournir des pistes d'amélioration à l'organisation hospitalière en explorant un domaine encore peu exploré qu'est la gestion des activités de nettoyage en milieu hospitalier.

Partie théorique

1. Le contexte des soins de santé

1.1 Les modèles de systèmes de santé

Comme défini par (Gerkens & Merkur, 2020), « A health system includes all activities with the primary purpose of promoting, restoring or maintaining health ». Nous pouvons en citer 3 principaux modèles, dont des éléments sont généralement combinés afin de répondre aux différents défis que sont le financement, l'accessibilité et la qualité des soins.

Le premier d'entre eux, le NHS ou Système National de Santé, est principalement financé par les impôts. La fourniture des soins est faite via des structures sous contrat avec l'état. Le modèle Bismarckien est quant à lui financé par des contributions sociales obligatoires pour les employés et employeurs, les soins étant fournis par des acteurs privés, mais régulés. Pour finir, le modèle libéral, se base sur la responsabilité individuelle, avec un rôle moindre de l'état (Gerkens & Merkur, 2020).

1.2 Situation européenne et belge

En Europe, la Commission Européenne travaille en forte collaboration avec l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE). Cette collaboration ayant pour but de toujours renforcer la santé publique et les systèmes de santé (OECD & European Union, 2022). Les dépenses gouvernementales en soins de santé augmentent continuellement depuis 2015, pour atteindre en moyenne 10.4% du Produit Intérieur Brut (PIB) des pays européens en 2022 (OECD & European Commission, 2024). Cette augmentation est poussée par le vieillissement général de la population européenne, mais aussi par les coûts importants pour innover médicalement (Schwierz, 2016). En termes de pourcentage du budget global des pays, la moyenne européenne était de 7,3% en 2023 (Eurostat, 2025). La part de ces dépenses qui est dédiée aux hôpitaux oscille entre 30% et plus de 45% en fonction du pays (OECD & European Union, 2022), ce qui explique que les hôpitaux soient ciblés par les politiques de maîtrise des coûts comme les budgets globaux, la mise en place de centrales d'achats, la réduction des coûts opérationnels ou encore l'évitement des hospitalisations inutiles, via par exemple l'eSanté ou un système de soins primaires fort (Schwierz, 2016). L'enjeu ici est de réduire les coûts sans compromettre la qualité ou l'accès aux soins de santé.

Le système de santé belge se rapproche fortement du modèle Bismarckien cité précédemment, notamment suite à la décision de l'Etat d'imposer à tous les citoyens l'affiliation à une assurance santé. La responsabilité en matière des soins de santé est répartie entre l'Etat et les différentes régions (francophone, néerlandophone et germanophone). Le premier a pour mission de déterminer le budget fédéral pour les soins de santé ainsi que de réguler les droits des patients et des professionnels de santé. Les régions gèrent quant à elles des organisations de santé primaire que sont les médecins généralistes, les pharmacies ou encore les maisons de soins. C'est également aux régions qu'incombe la responsabilité en matière de santé mentale et de revalidation, ainsi que la promotion des bonnes pratiques et la prévention des maladies (Gerkens & Merkur, 2024).

La part du PIB dédié aux soins de santé s'est stabilisée entre 10,2% et 11,2% depuis 2009 (11% en 2021)(Gerkens & Merkur, 2024), ce qui place la Belgique légèrement au-dessus de la moyenne européenne.

1.3 Le rôle central des hôpitaux

Les hôpitaux sont au cœur des systèmes de santé moderne, bien que leur rôle puisse différer selon le pays, le mode de gouvernance ou le niveau de financement. En plus d'assurer les soins pour les pathologies aiguës ou chroniques, ils jouent un rôle clé dans la prévention des maladies, l'enseignement et la formation médicale, ainsi que la recherche clinique. Ce sont aussi eux qui sont en première ligne et qui subissent le plus de pression lors de crises de santé majeures comme le COVID-19 (OECD & European Union, 2022).

Généralement exprimé en nombre de lits pour 1000 habitants, l'indicateur du nombre de lits est utilisé par l'OCDE ainsi que l'OMS pour comparer les systèmes de santé entre pays. Cet indicateur a l'utilité d'évaluer la capacité des hôpitaux à accueillir des patients et sert également à planifier l'offre de soins ou anticiper la saturation des services hospitaliers (OECD & European Commission, 2024).

En Europe, en 2019, il y a en moyenne 5,32 lits pour 1000 habitants (Eurostat, 2023). Cette moyenne est relativement élevée comparée aux pays d'Amérique (entre 1 et 3 lits pour 1000 habitants) et d'Afrique (moins d'1 lit pour 1000 habitants ou pas d'informations disponibles), mais sensiblement moins élevée que certains pays asiatiques comme le Japon ou la Corée du Sud qui dépassent les 10 lits pour 1000 habitants (*World Bank Open Data*, 2020). La plupart des pays d'Europe de l'Est se situent au-dessus de la moyenne européenne, allant jusqu'à près de 8 lits pour 1000 habitants en Allemagne. Les pays possédant le moins de lits par habitant

sont les pays scandinaves, le plus bas étant la Suède avec 2,07 lits (/1000 habitants). Cet indicateur est en baisse relativement constante depuis le début des années 2000 et ce presque exclusivement concernant les soins curatifs, ce qui peut s'expliquer par un raccourcissement général des durées d'hospitalisations classiques (Schwierz, 2016).

2. Le fonctionnement hospitalier en Belgique

2.1 Types de soins et nombre de lits

Les hôpitaux belges offrent différents types de soins. Les plus courants (68%) sont les soins curatifs, soit les hospitalisations « classiques » à court terme. Viennent ensuite les soins psychiatriques (13%) qui, comme leur nom l'indique, ont pour but de traiter les troubles mentaux des patients, avec un traitement à durée variable en fonction de la condition du patient. Enfin, les soins de longue durée ou soins chroniques (4%) qui sont généralement prodigués aux personnes âgées, en situation de handicap ou souffrant de maladies dégénératives (Schwierz, 2016). Le Service Public Fédéral (SPF) Santé Publique fait quant à lui la distinction entre les soins chroniques et gériatriques cités dernièrement (SPF Santé Publique, 2023).

Le nombre de lits moyen par habitant en Belgique, soit 5,56 lits par 1000 habitants, est légèrement supérieur à la moyenne européenne (Eurostat, 2023). L'Annexe 1 nous montre le nombre moyen de lits pour 100 000 habitants dans les 10 provinces belges et à Bruxelles. Nous pouvons y voir que la région de Bruxelles-Capitale est la plus couverte tandis que les Brabants flamands et wallons sont les provinces les moins couvertes de Belgique avec respectivement 2,78 et 1,55 lits pour 1000 habitants (SPF Santé Publique, 2023).

2.2 Réseaux hospitaliers et organisation

La Belgique compte 103 hôpitaux, 51 en Flandre, 14 à Bruxelles et 38 en Wallonie, sur son territoire, pour un total de 194 sites hospitaliers. En termes de proportions, 30% de ceux-ci sont gérés par une autorité publique tandis que les 70% restants sont des hôpitaux privés organisés en ASBL, bien qu'aucune distinction légale ne soit faite entre les deux. Parmi ces hôpitaux généraux (ie. En dehors des hôpitaux psychiatriques), nous pouvons distinguer les hôpitaux généraux classiques des hôpitaux généraux universitaires ou à caractère universitaire. Un hôpital général universitaire combinant toutes les caractéristiques d'un hôpital général classique avec des impératifs de formation, de recherche scientifique ainsi que de développement technologique. Les hôpitaux universitaires sont également liés à une faculté de médecine, et

peuvent accueillir certains patients nécessitant un traitement spécialisé (SPF Santé Publique, 2023).

Dans un but de réduction des coûts et d'amélioration continue de la qualité/disponibilité des soins, les pouvoirs publics ont ces dernières années mis en place certaines mesures incitant la collaboration entre les hôpitaux. C'est ainsi qu'ont vu le jour les concepts de missions de soins loco et supra-régionales. Une mission de soin locorégionale doit pouvoir être effectuée dans presque n'importe quel hôpital, nous parlons ici des services d'urgences, de dialyse, d'hospitalisation, etc. Les missions de soins suprarégionales concernent un panel de patients beaucoup plus restreint, mais avec des prérequis beaucoup plus importants également, que cela soit en matière de technologie, d'expertise ou d'investissement (SPF Santé Publique, 2023).

Depuis 2020, chaque hôpital doit donc faire partie d'un et un seul réseau hospitalier locorégional. Ceci ainsi que la concentration des activités suprarégionales dans des centres de référence (ex : centre des grands brûlés) font en sorte de rendre l'offre « classique » la plus accessible possible, tout en concentrant les soins hyperspécialisés afin d'en augmenter la qualité. Ce qui correspond aux motivations avancées par les pouvoirs publics.

2.3 Financement des hôpitaux

Comme énoncé auparavant, en Belgique, les soins de santé et donc par extension les hôpitaux sont financés en partie par l'Etat et ce via le Budget des Moyens Financiers (BMF). Le BMF, spécifique à la Belgique, est la dotation globale annuelle attribuée aux hôpitaux généraux et psychiatriques, qui correspondait en 2018 à 41% des dépenses annuelles des hôpitaux en moyenne. Il est décidé au niveau fédéral par les autorités de la santé comme l'Institut National d'Assurance Maladie-Invalidité (INAMI) (Gerkens & Merkur, 2020).

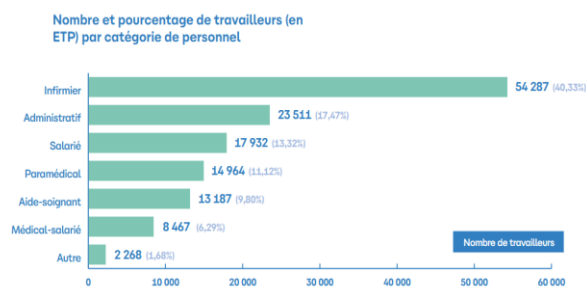
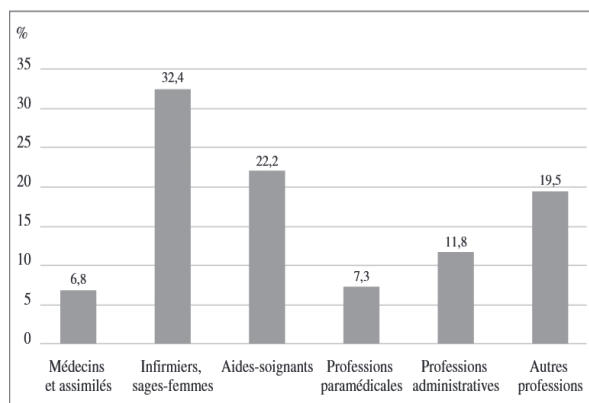
Les hôpitaux sont en partie auto-financés, et ce par différents moyens. Nous pouvons d'abord citer la tarification au patient de divers actes médicaux, médico-techniques ou paramédicaux. Ceux-ci peuvent être tarifés sous forme de paiement à l'acte (fee for service) ou de forfait, en fonction de l'activité réalisée. Viennent ensuite les revenus liés aux ventes de produits pharmaceutiques et aux activités non-hospitalières comme une cantine ou une boutique. Enfin, certains hôpitaux peuvent également compter sur les subventions ou legs d'entreprises privées (Gerkens & Merkur, 2020).

3. Le personnel hospitalier

Le personnel de santé était auparavant défini par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme étant « toute personne étant engagée dans des actions dont la première intention est d'améliorer la santé » (OMS, 2006). Cette définition sera plus tard élargie à « tout travailleur actif dans les services de santé, pour la santé publique, dans des domaines connexes, ou qui apporte un soutien à ces activités. » (OMS, 2017) Cette définition plus large englobe désormais les travailleurs dont les fonctions ont un rôle de support et/ou de management dans les établissements de soin.

Lorsque nous parlons de personnel de santé, il faut savoir que deux tiers d'entre eux sont considérés comme du personnel médical et un tiers d'entre eux occupe une fonction non-médicale (Tekeli-Yesil & Kiran, 2020). Les Figure 1 (Benallah & Domin, 2017) et Figure 2 (SPF Santé Publique, 2023) nous indiquent que cette proportion est similaire dans les hôpitaux belges (2023) et français (2013) et nous montrent plus en détails les différents types de métier présents dans les hôpitaux. Nous pouvons clairement y voir que le métier d'infirmier est le plus représenté avec près de 40% des effectifs.

GRAPHIQUE – Répartition des travailleurs du secteur hospitalier en 2013, selon la profession



Bien que les fonctions soient similaires dans les hôpitaux publics et privés, (Clark & Milcent, 2011) identifient de légères différences en termes de nombre d'employés qui peuvent s'expliquer par l'usage parfois politique des hôpitaux publics. Des différences du nombre d'employés peuvent aussi apparaître en fonction de l'internalisation ou non de certaines activités. L'internalisation étant bénéfique au niveau du bien-être et de l'attitude des employés, là où l'externalisation améliore davantage la productivité, la qualité des services et l'efficacité économique (Tekeli-Yesil & Kiran, 2020).

3.1 La charge de travail

La notion de charge de travail est loin d'être précise, elle a d'abord concerné la dimension physique du travail et était évaluée en fonction du travail musculaire avant d'être utilisée également en psychologie du travail. J. C. Sperandio propose en 1972 une première définition de la charge de travail comme étant « le niveau d'activité (mentale, sensori-motrice, physiologique, etc.) de l'opérateur, nécessaire à l'accomplissement d'un travail donné, et évalué selon un certain critère » (Perandio, 1972). Le critère mentionné évaluant de façon moins directe la charge de travail en cas de travail psychologique. En effet, les critères correspondant à un travail physique peuvent être perçus comme plus clairs (par exemple, évaluation de la quantité d'acide lactique produit pendant un exercice) par rapport à une activité mentale où nous évaluerions par exemple la variation du rythme cardiaque. L'auteur distingue ce qui relève de la tâche à accomplir et la représentation de celle-ci qui dépend de l'opérateur. Il souligne également l'importance de différencier la charge de travail de la fatigue associée, qui sont étroitement reliée mais qui ne représentent pas la même chose. La première n'étant mesurée que pendant la durée d'exécution de la tâche, tandis que la seconde peut apparaître ou se prolonger après l'arrêt d'une tâche (Perandio, 1972).

Bon nombre d'études relatives à l'évaluation de la charge de travail des personnels de santé indiquent que la charge de travail de ces travailleurs est supérieure aux travailleurs d'autres domaines. Bien qu'elle soit déjà élevée, les restructurations des milieux hospitaliers ainsi que les pénuries dans les métiers de la santé mènent à une multiplication des tâches et à une augmentation de cette charge de travail (Aubry, 2012). Pieter Smet remarque cette augmentation de la charge de travail et propose un modèle d'assignation de patients ayant pour but de minimiser les différences de charge de travail entre les infirmières, que ce soit sur le plan spatial et/ou temporel (Smet, 2023). Harmoniser les charges de travail et éviter ainsi des charges de travail trop importantes pour un seul individu peut être intéressant sachant qu'une charge de travail trop élevée est positivement corrélée avec l'intention de quitter son travail (Quéméner et al., 2023). Catania et al. remarquent également cette corrélation et ajoutent qu'une charge de travail trop importante est aussi corrélée à un taux de mortalité grandissant chez les patients (Catania et al., 2024).

Il existe nombre d'études se concentrant sur la charge de travail en milieu hospitalier. La majorité d'entre elles concernent le personnel soignant, notamment les infirmiers (Catania et al., 2024 ; Junttila et al., 2016), les pharmaciens (Dubois et al., 2016) ou les aides-soignant

(Quéméner et al., 2023). Il n'y a cependant que peu d'études qui évaluent la charge de travail des autres types de personnel de santé comme les équipes de housekeeping ou les employés de bureaux.

4. Les techniciens de surface en milieu hospitalier

4.1 Rôle et importance dans la lutte contre les IAS

Jusqu'au début des années 2000, le mauvais nettoyage des hôpitaux n'était pas considéré comme corrélé à l'augmentation des infections acquises à l'hôpital (IAHs). S.J. Dancer admet effectivement en 2009 qu'il est évident que le mauvais nettoyage d'un hôpital est positivement corrélé au nombre d'IAHs, en soulignant cependant le peu d'études existantes sur le sujet, ainsi que l'absence de normes et de mesures définissant un nettoyage efficace, chaque hôpital définissant donc de ses propres standards (Dancer, 2009). Cette non-considération du nettoyage des hôpitaux étant due à la croyance générale que des organismes dans un environnement inanimé étaient inoffensifs et ne pouvaient mener à une contamination des patients. Un autre facteur ayant joué dans le manque de reconnaissance de la nécessité du nettoyage était tout simplement le fait que les microbes soient invisibles, une pièce pouvait donc être considérée comme propre à l'œil nu sans pour autant l'être vraiment (Dancer, 2023). Peters et al. font eux aussi le constat d'un nettoyage hospitalier longtemps négligé et ce malgré son importance dans la prévention des IAHs. Ils listent en 2018 dans un compte-rendu du Forum sur le nettoyage hospitalier les différents aspects à prendre en compte pour réussir à maintenir un hôpital réellement propre sans trop dépenser, comme l'internalisation des activités de nettoyage, l'importance de la formation du personnel ou encore la considération envers les techniciens de surfaces dont nous discuterons par après. Ils soulignent également l'importance de pouvoir effectuer une analyse coûts-bénéfices liée au bon nettoyage pour convaincre les décideurs (Peters et al., 2018).

Compte tenu des déclarations précédentes, les techniciens de surface, aussi appelés agents d'entretien, ont indéniablement un rôle clé dans la lutte contre les IAS. Ils sont responsables du nettoyage régulier des surfaces, sols et équipements pour éliminer les saletés et agents pathogènes, ce qui est essentiel à la prévention des IAS. En maintenant un haut niveau de propreté, ils aident aussi à prévenir la propagation de maladies transmissibles. Les techniciens de surface font également la collecte et l'évacuation des déchets hospitaliers parfois biologiques ou dangereux en prenant soin de respecter les protocoles stricts mis en place. En gardant un environnement propre, ils permettent aux employés médicaux et aux médecins d'exercer dans

les meilleures conditions, en plus de créer un environnement sûr où les risques de glissades ou autres accidents sont minimisés (Dancer, 2023).

4.2 Conditions de travail et reconnaissance

Partons d'abord d'un point de vue général des conditions de travail et de vie de ces travailleurs. Les agents d'entretien sont exposés à des contraintes physiques relativement importantes comme la répétition des gestes, le fait d'être en position debout la plus grande partie de la journée ou encore la manipulation quotidienne de produits chimiques. Ces conditions sont fréquemment la cause de troubles musculo-squelettiques et d'allergies. Leur travail est généralement fait en dehors des heures de travail conventionnelles pour éviter de déranger le reste du personnel, ce qui peut amener de la fatigue physique, des troubles du sommeil et affecter leur vie sociale (Archangelidi et al., 2021).. Comme révélé en par Bitzas et al. (2022), ces agents d'entretien sont aussi plus sujets aux chutes et glissades, le taux d'incidents étant près de 3 fois plus élevé que la moyenne dans les autres industries (Bitzas et al., 2022). Tout cela en sachant que les travailleurs du nettoyage font partie des ménages à faibles revenus, une majorité d'entre eux vivant sous le seuil de pauvreté (Rho et al., 2020).

Les défis sont plus nombreux encore pour les techniciens de surface travaillant dans le milieu médical. Comme cité auparavant, ils sont tout d'abord en première ligne pour prévenir l'apparition d'IAS. Ensuite, leur exposition quotidienne au sang et autres fluides corporels peut ajouter de la fatigue mentale à celle physique évoquée précédemment. Il est aussi nécessaire de veiller à la bonne entente entre les équipes de nettoyage et les équipes médicales. Les conflits, généralement initiés par un manque de communication, nuisant effectivement à l'efficacité des mesures d'hygiène. Le dernier défi majeur réside dans la formation continue des agents d'entretien. Le manque de formation et/ou de mises à jour des techniques de désinfections ou des protocoles de manipulation des déchets médicaux dans beaucoup d'établissements pouvant exposer le personnel à des erreurs critiques (Rutala & Weber, 2019).

Bien que le rôle des techniciens de surface, et ce particulièrement en milieu hospitalier, soit fondamental, ceux-ci sont généralement sous-évalués. Une étude qualitative de Vance et al. (2022) indique que, bien qu'ils soient conscients de leur importance, les agents d'entretien en milieu hospitalier se sentent généralement ignorés ou sous-estimés par le personnel médical car leur travail est considéré comme secondaire ou non-soignant (Vance et al., 2022). Cette sous-évaluation découlant généralement de stéréotypes des métiers « peu qualifiés » peut avoir un effet néfaste sur la sécurité sanitaire en limitant l'intégration efficace des techniciens de surface.

Pendant la crise du COVID-19, l'impact des techniciens de surface en milieu médical, qui assuraient la désinfection des zones à haut risque, a été critique pour lutter contre la propagation du virus. Suganthirababu et al. (2024) révèlent que cette période a été marquée par une invisibilité institutionnelle et un stress intense. Les travailleurs devaient travailler au plus près du virus avec un accès parfois limité aux protections nécessaires, exacerbant une anxiété importante liée à la peur de contaminer un proche, à une surcharge de travail ou à un isolement social. Certains employés décrivent même un sentiment d'humiliation, se sentant parfois traités comme des porteurs potentiels au lieu de collègues à part entière (Suganthirababu et al., 2024).

4.3 Organisation du travail

En termes d'organisation du travail, là où dans les années 80 la majorité des services de nettoyage étaient internalisés, les agents d'entretien travaillent de nos jours dans de plus petites entreprises, qui proposent leurs services de nettoyage aux entreprises ayant externalisé cette tâche. Cette évolution vers un marché compétitif du nettoyage a eu pour conséquences la baisse générale des conditions de travail du métier, en commençant par les salaires. Cette période a vu également vu l'apparition de nouvelles techniques de management humain comme les horaires flexibles, le travail à temps partiel ou le travail « à la demande » (Lin et al., 2022).

Un article de Vértésy L. publié en 2020 distingue ces nouvelles formes de travail, décrites comme des formes « non-standard », du modèle traditionnel d'emploi à temps plein et permanent. Vértésy divise ces formes non-standard d'emploi en 3 catégories, la première étant l'emploi occasionnel qui est caractérisé par un travail flexible à court terme et qui est parfois déterminé sur base des besoins. L'emploi temporaire est similaire à l'emploi occasionnel mais s'en distingue par le fait que la durée du contrat est déterminée à l'avance. Enfin, les travailleurs indépendants ou autonomes qui fournissent leurs services à des entreprises ou particuliers. Ces nouvelles formes d'emploi ont divers avantages pour les employés comme la flexibilité, un accès facilité au marché du travail ou un meilleur équilibre entre vie professionnelle et privée. L'auteur en identifie cependant des limites comme des revenus réduits ou des possibilités de carrière restreintes et souligne la différence de réglementation entre les différents pays européens. La conclusion de l'article illustre la fracture entre les avantages en termes de compétitivité économique et les potentiels risques pour la préservation des droits fondamentaux des travailleurs (Vértésy, 2020).

L'externalisation des activités de nettoyage ainsi que l'apparition de ces nouvelles techniques de management ont eu pour effet d'augmenter considérablement la productivité des techniciens

de surface (Lin et al., 2022), des chiffres publiés en 2021 par le Bureau of Labor Statistics montrent une augmentation de 80%, signifiant qu'une même tâche nécessite maintenant près de 2 fois moins d'heures prestées qu'auparavant. Chair P.W. (2003) admet que, dans des milieux comme les écoles ou les hôpitaux, les horaires sont le plus souvent définis uniquement par les gestionnaires sur base de contraintes budgétaires. Il n'est que très rare de voir des horaires définis en respectant une logique de santé ou d'équilibre de vie (Chair, 2003). Aussi, les horaires des techniciens de surface peuvent varier d'une semaine à l'autre ce qui engendre une imprévisibilité de la vie personnelle (Lin et al., 2022).

5. L'optimisation sous contraintes comme solution

5.1 Principes généraux

L'optimisation sous contraintes est une discipline des sciences décisionnelles qui a pour but de représenter une situation réelle sous forme de modèle d'optimisation, avec une fonction objectif à minimiser ou maximiser ainsi que des contraintes d'égalité ou d'inégalité qui reflètent des limites de ressources ou des conditions à remplir. Cette approche, née dans les années 1940 avec George Dantzig et l'algorithme du simplex, s'est imposée comme une méthode incontournable pour la résolution de problématiques complexes comme la planification ou l'allocation de ressources.

L'utilisation de modèles d'optimisation permet d'obtenir des solutions optimales ou quasi-optimales, vérifiables et la plupart du temps meilleures que des solutions trouvées manuellement. Cette méthode offre également une relative objectivité ou transparence dans les prises de décisions car chaque objectif ou critère est pondéré à l'avance pendant la conception du modèle. Ces modèles peuvent par la suite être enrichis de techniques avancées pour traiter des problèmes avec des nombres très élevés de variables, ou servir de base pour l'ajout de métaheuristiques qui peuvent améliorer la qualité et/ou la rapidité des résultats (Van Den Bergh et al., 2013).

Il existe toutefois certaines limites à l'utilisation de l'optimisation sous contraintes. Coder un modèle d'optimisation nécessite une connaissance quasi parfaite d'un sujet ou d'une situation parfois très complexes qu'il est difficile de représenter avec précision. Certains modèles sont inexploitable de par leur taille ou de par leur complexité computationnelle. Il est aussi important de s'assurer de la fiabilité des données initiales car elles détermineront les solutions trouvées par le modèle. Enfin, la majorité des modèles étant déterministes, il faut être prudent

avec les solutions obtenues qui peuvent ne pas tenir compte de composantes humaines ou imprévues (Van Den Bergh et al., 2013).

5.2 Application au secteur de la santé

Les modèles d'optimisation peuvent être utilisés pour différents problèmes liés au secteur de la santé, dont voici ci-dessous une liste non-exhaustive :

Une première application connue est celle de la Planification du Personnel Infirmier (PPI), qui comme son nom l'indique a pour objectif de définir les horaires de travail des infirmier(e)s. Ce PPI a régulièrement été étudié ces dernières années, mais rarement en y intégrant des objectifs de maximisation du bien-être du personnel. Il manque aussi généralement la considération d'aspects cruciaux de la vie réelle, comme le temps de formation, les heures supplémentaires ou encore les weekends et vacances. Yasmine et al. proposent en 2024 un modèle de PPI particulièrement attentif à l'équilibrage des charges de travail et au bien-être du personnel. Une planification efficace permettant selon eux d'accroître la qualité des soins prodigués aux patients, la satisfaction au travail ainsi que le bien-être des travailleurs (Yasmine et al., 2024).

Une deuxième application, déjà généralisée dans d'autres secteurs que la santé, est celle de la gestion de la chaîne logistique. Cette discipline est cruciale pour le bon développement des entreprises actuelles, d'autant plus dans le domaine des soins de santé de par sa complexité et sa nature vitale. Latifa K. et Saida A. identifient dans leur thèse 5 domaines optimisables dans la gestion de la chaîne logistique des soins de santé que sont la gestion de la demande, des commandes, des fournisseurs, de la logistique et des stocks (Latifa & Saida, 2024).

L'optimisation mathématique peut également être utilisée dans la gestion des arrivées de patient ou la gestion des lits. Nous pouvons par exemple citer la thèse de Louhab Z. (2024) qui propose un modèle minimisant la durée de séjour des patients ainsi que le temps nécessaire entre l'arrivée des patients aux urgences et la prise en charge par un médecin (Louhab, 2024).

Nous pouvons finalement citer la planification des chirurgies ou encore l'assignation de salles d'opérations à des chirurgiens, sujets que nous avons exploré durant notre cours de Projet Quantitatif en Master 1.

5.3 Modèles de planification des activités de nettoyage

Nous nous intéressons ici à la littérature concernant la Planification des Activités de Nettoyage (PAN), une sous-catégorie des problèmes de planification. Comme évoqué plus tôt, la littérature

concernant la charge de travail pour le personnel de santé non-soignant, les techniciens de surface notamment, est moins répandue que celle concernant le personnel soignant (infirmiers, pharmaciens, etc.), ce qui est également le cas pour la littérature sur l'utilisation de modèles d'optimisation dans les secteurs de santé. De ce fait, nous ne nous concentrerons pas uniquement le PAN en milieu hospitalier, mais également sur le PAN « classique » qui peut être utilisé dans d'autres secteurs.

Les modèles de planification du nettoyage diffèrent les uns des autres en fonction du secteur pour lequel ils sont créés. Les contraintes ne sont effectivement pas les mêmes dans chaque cas. Il existe également plusieurs fonctions objectifs régulièrement utilisées en planification, dépendant elles-aussi du cas étudié. Nous pouvons par exemple citer la minimisation des coûts, la minimisation de la durée totale entre le début et la fin de toutes les tâches (« makespan ») ou encore la minimisation du temps total passé à nettoyer (« sum of completion time ») (Combaud & Santos, 2021)

Campana et al. (2021) nous proposent un modèle d'optimisation fonctionnant en 3 niveaux ou étapes. La première consiste, via une Programmation Linéaire Mixte (PLM), en la répartition des différentes activités de nettoyage sur la semaine en s'assurant une certaine égalité des charges de travail entre les jours de la semaine. La seconde étape crée, à l'aide d'un Programme d'Ordonnancement de Véhicules avec Fenêtres de Temps (POVFT), des chemins de nettoyage qui représentent une séquence de tâches effectuées dans une période de temps donnée. En troisième et dernière étape, les auteurs appliquent finalement un modèle de Planification du Personnel (PP) sur une période prolongée aux résultats trouvés précédemment. L'objectif principal du modèle proposé est simplement la minimisation du temps total presté, principale préoccupation des gestionnaires de manière générale (Campana et al., 2021).

Problématique

En Belgique, les hôpitaux jouent un rôle crucial dans la santé urbaine, que cela soit via la fourniture de soins, la formation et la recherche ou encore via leur rôle clé dans la mise en œuvre des politiques de santé publique. Ils garantissent aussi l'accès aux soins pour les personnes les plus vulnérables (Gerkens & Merkur, 2020).

Le nettoyage de ces hôpitaux est indispensable, et ce principalement car cela permet de réduire drastiquement la probabilité pour les patients de développer des IAS, en plus d'offrir un environnement propre aux patients et au personnel. Etant donné la charge de travail que représente le nettoyage d'un site hospitalier ainsi que le nombre de techniciens de surface employés, la planification manuelle des horaires de ces techniciens ne permet pas d'optimiser leur nombre tout en respectant les différentes contraintes qui sont liées aux travailleurs, aux zones nettoyées ou au timing tout en assurant l'équité entre les employés. + importance de réduire les coûts

Dès lors se pose la question de « *Comment généraliser, au moyen d'un modèle d'optimisation, l'assignation d'horaires de travail aux techniciens de surface d'un hôpital en respectant des contraintes multiples ainsi qu'en assurant l'équité et l'efficacité ?* »

Partie méthodologique

Contexte : le Centre Hospitalier EpiCURA

Le CH EpiCURA est une entreprise privée née en 2012 d'une fusion entre le Centre Hospitalier Hornu-Frameries (CHHF) et le Réseau Hospitalier de Médecine Sociale (RHMS), avec pour but de rationaliser l'offre hospitalière et de faciliter l'accès à des programmes de soins de santé complets et performants dans la région de Mons-borinage.

En termes de chiffres, en 2024, le CH EpiCURA emploie plus de 2500 personnes (12% de celles-ci, soit près de 300 travaillant dans les équipes de nettoyage) réparties dans 3 hôpitaux à Hornu, Baudour et Ath, 3 polycliniques situées à Frameries, Dour et Jurbise, ainsi qu'une clinique du sommeil à Enghien. A l'exception du nettoyage du linge qui est externalisé pour les sites de Baudour et Ath, l'entièreté des activités de housekeeping sont internes à l'entreprise pour ses 3 sites principaux. En 2023, plus de 25000 hospitalisation classique, 8000 hospitalisations de jour, 70000 passages aux urgences, et près de 400000 consultations ont eu lieu.

EpiCURA fait également partie du réseau PHARE, le premier des 8 réseaux agréés de collaboration interhospitalière locorégionale de Wallonie, qui regroupe les CHMouscron, CHR Haute Senne ainsi que le CHwapi. Ce réseau emploie près de 8500 professionnels de santé et couvre géographiquement 37 communes soit plus de 600 000 habitants (Medi-Sphere, 2021).

Bien que le CH EpiCURA soit, comme le reste des hôpitaux belges, principalement financé par le budget des hôpitaux des autorités fédérales, l'entreprise fait également appel aux banques soutenir différents projets d'envergure. Nous pouvons notamment citer le plan CRESCENDO, qui représentait un investissement de 162 millions d'euros entre 2020 et 2025, financé à hauteur de 40 millions d'euros par CBC Banque, et qui a pour but principal d'améliorer la prise en charge sécuritaire et qualitative des patients tout en renforçant la complémentarité entre ses 3 principaux sites (CBC Banque, 2024). L'entreprise a annoncé en février 2024 la création d'un plan BOOST, consistant en un investissement de 20 millions d'euros sur 3 ans et dont la ligne directrice est la durabilité. Les 3 axes principaux de ce projet étant la réduction des besoins en énergie, la réduction des déchets ainsi qu'une mobilité plus efficace (Claes, 2024).

Méthodologie

Comme précisé dans notre introduction, la partie pratique de notre mémoire sera appliquée au Centre Hospitalier EpiCURA ASBL (CH EpiCURA), et plus spécifiquement à l'extension actuellement en construction sur leur site d'Hornu. Nous aurons donc pour but de créer un modèle d'optimisation renvoyant comme solution une grille horaire pour les différents techniciens de surface requis pour le nettoyage de cette extension.

Définition des durées de nettoyage

Avant de pouvoir commencer la modélisation, il nous a fallu définir les temps de nettoyage nécessaires pour les différentes zones qui seront présentes dans l'extension. Notre stage chez EpiCURA, qui avait pour objet d'évaluer la charge de travail des techniciens de surface, nous a donc été bien utile sur ce point.

Nous avons premièrement été sur le terrain afin d'analyser les méthodes de travail ainsi que le fonctionnement général des équipes de nettoyage. Sur base de ces observations et de documents internes à l'entreprise, nous avons créé une liste des différents « items » à nettoyer (ex : un radiateur, une fenêtre, une douche, ...) associés à des temps de nettoyage moyens en fonction du protocole de nettoyage (nettoyage journalier/périodique, « dégradé / à fond », ...). Au vu du nombre de types de locaux différents, et étant donné que la charge de travail pour nettoyer une même pièce peut varier significativement d'un jour à l'autre (que cela soit dû au patient, à l'encombrement du service, ...), ces temps de nettoyage moyens n'ont pas été définis sur base de mesures prises personnellement, mais avec l'aide du formateur des techniciens de surface chez EpiCURA (*Annexe 1*).

Nous avons ensuite listé, les types de locaux présents (*Annexe 2*) dans l'hôpital ainsi que le protocole de nettoyage pour chacun (une chambre en unité d'hospitalisation n'est par exemple pas le même que le nettoyage d'une chambre en hôpital de jour). L'étape suivante a été d'identifier les services ayant un protocole de nettoyage différent des autres, et de retranscrire ce protocole de manière mathématique.

Une fois que ces informations étaient rassemblées, il ne manquait que la composition des locaux (le nombre de chaque « item » dans chaque local). N'ayant qu'un temps limité, et surtout l'extension n'étant pas terminée (les types de locaux qui seront présents sont connus, mais leur composition ne l'est pas), il nous était impossible de simplement faire l'inventaire de chaque local. Nous avons donc eu l'idée d'estimer la composition future des locaux de l'extension sur

base d'observations réalisées sur le site actuel d'Hornu. Ces observations nous ont permis de définir un nombre moyen d'items par mètre carré pour chaque type de local, et d'estimer la composition des futurs locaux de l'extension. La liste finale des locaux de l'extension et leur durée de nettoyage sont visibles dans l'*Annexe 3*.

Nous avons par après comparé le nombre d'heures qui seront nécessaires au nettoyage d'un service avec le nombre d'heures prestées actuel dans des services similaires, et ces résultats semblaient cohérents selon notre maître de stage, responsable housekeeping pour les 3 sites principaux.

La modélisation

Notre modèle d'optimisation se voulant le plus proche possible de la réalité du terrain, la première étape est évidemment la compréhension du fonctionnement des équipes de nettoyage au sein d'EpiCURA, des objectifs recherchés par les gestionnaires ainsi que l'identification des différentes contraintes opérationnelles et réglementaires liées à ce nettoyage. Cette étape nous permettra d'avoir une vue d'ensemble et de nous aiguiller dans la création de notre modèle.

Nous créerons donc notre modèle dans cet ordre ; nous définirons la(les) fonction(s) objectif(s) que nous cherchons à minimiser ou maximiser. Nous formaliserons les ensembles d'indices à utiliser qui nous permettront de structurer nos variables de décision. Nous déclarerons par après ces variables de décisions qui seront binaires, entières ou continues en fonction de ce qu'elles représentent. Nous listerons ensuite les différentes contraintes obligatoires, en ajoutant par la même occasion les différentes variables et paramètres utiles à la modélisation de ces contraintes. Nous finirons par intégrer des prompts qui dicteront au modèle les différents indicateurs, pertinents pour notre analyse, à faire ressortir.

À la fin de ce processus, nous aurons une première formulation complète de notre modèle, que nous résoudrons à l'aide du solveur Xpress Mosel. Solveur que nous avons choisi suite aux différents cours où nous avons pu assimiler son fonctionnement et de par sa disponibilité sur les ordinateurs de l'université.

S'en suivra une série de tests basés sur nos données qui serviront à valider que notre modèle fonctionne bien de la manière escomptée, que sa durée de résolution reste raisonnable ou encore que les solutions et indicateurs obtenus sont cohérents.

Analyse des résultats

Une fois notre modèle de base validé, nous performerons une analyse de la performance de celui-ci via divers indicateurs comme le temps de résolution, le gap obtenu ou la robustesse de(s) la solution(s). Un bon indicateur de la qualité de notre modèle sera également la cohérence entre notre solution et la réalité du terrain.

Nous verrons par la suite s'il est possible de simplifier la résolution du modèle en conservant au maximum la correspondance avec la réalité. Ou à l'inverse, si notre modèle tourne déjà relativement rapidement, nous essaierons de le rapprocher de la réalité tout en gardant un temps de résolution acceptable.

Nous analyserons enfin différentes variantes de notre modèle qui nous sembleront pertinentes dans le cadre de notre mémoire. Celles-ci seront décrites par la suite dans la partie pratique.

Partie pratique

Modèle d'optimisation

L'objectif principal de notre modèle sera de définir le planning optimal d'une semaine-type des techniciens de surface, qui s'assure de respecter les différentes contraintes liées au nettoyage de l'extension.

Les outputs principaux de ce modèle seront donc **les horaires attribués aux différents techniciens de surface** pour chaque jour de la semaine, ainsi que **le type de contrat accordé** à ces mêmes techniciens. Le modèle renverra également une grille horaire montrant les périodes auxquelles sont nettoyées les différentes zones, bien que cette information ne soit nécessaire que pour répondre aux différentes contraintes.

Les affirmations

Ci-dessous les affirmations sur lesquelles se base notre modèle, elles-mêmes basées sur les observations faites au CH EpiCURA et sur les essais effectués pour aboutir à notre modèle de base :

Il nous faut tout d'abord différencier les techniciens « fixes » des techniciens « volants ». Un technicien fixe est assigné à un et un seul service en dehors duquel il ne peut travailler, et nous considérons que lorsqu'un technicien fixe travaille dans son service il ne peut être aidé par un autre technicien. Les techniciens fixes ne travaillent pas le dimanche et pas plus de 5 jours par semaine. Leurs horaires de travail sont également les mêmes quel que soit le jour de la semaine. À l'inverse, les techniciens dits volants peuvent travailler dans n'importe quel service, n'importe quel jour et au maximum 6 fois par semaine. Ils peuvent également avoir un horaire changeant chaque jour. Ce sont les gestionnaires qui définissent le nombre de techniciens fixes pour tel ou tel service, ou plus précisément le nombre d'heures prestées par des techniciens fixes dans un service (par exemple 1.5 ETP soit 57h). Les techniciens choisis pour être fixes sont généralement des employés ayant une certaine ancienneté, être fixe étant considéré comme une récompense pour les employés.

Au CH EpiCURA, les horaires de travail ne font pas partie d'une liste figée. Chaque employé peut effectivement faire une demande à ses responsables pour travailler pendant un horaire spécifique, demande qui est généralement acceptée. Il existe actuellement de par ce fait plus de 80 horaires différents pour les techniciens de surface chez EpiCURA rien que pour le site

d'Hornu. Par souci de taille de modèle, nous ne nous baserons dans le nôtre que sur les 20 horaires les plus utilisés actuellement sur Hornu, définis sur base de l'*Annexe 4*.

Le nombre d'employé importe peu. Il apparaît en effet après discussion avec le responsable housekeeping ainsi que le directeur logistique du CH EpiCURA qu'il n'y a aucune différence financière pour les gestionnaires entre 2 personnes employées à mi-temps et une personne employée à temps plein. C'est pour cette raison que nos fonctions objectifs n'intégreront pas la minimisation du nombre d'employés.

Nous séparerons le temps en tranches horaires de 30 minutes pour des raisons explicitées par après. Par souci de cohérence avec cette décision, nous agrègeront les différentes zones à nettoyer en groupes de zones, dont les temps de nettoyage seront divisés par 30. Les valeurs obtenues seront arrondies de la manière suivante ; si la décimale est inférieure à 0,33 alors arrondi à l'inférieur, arrondi au supérieur sinon. Avec cet arrondi augmentant en moyenne les temps de nettoyage réel, nous assumerons que les temps de déplacement entre les différentes zones sont compris dans les durées de nettoyage.

Les temps de nettoyage sont les mêmes quel que soit le jour pour les zones ne devant pas être nettoyées quotidiennement. Pour les zones nettoyées chaque jour, le nettoyage du dimanche est une prestation dégradée, les temps de nettoyage sont donc adaptés.

Nous avons défini les heures pendant lesquelles telle ou telle zone peut être nettoyée ou non, ainsi que des « périodes jaunes » qui correspondent à un horaire gênant pour nettoyer, car il y a par exemple plus d'encombrement à ces heures.

Concernant les horaires de nuit, soit de 21h à 5h du matin, le CH EpiCURA emploie actuellement 2 techniciens sur le site d'Hornu qui ont pour mission d'effectuer les nettoyages urgents pendant la nuit. Nous considérons que ces 2 techniciens suffiront à couvrir également l'extension étudiée dans ce cas pratique et n'intégreront donc pas les heures de nuit, ce qui nous permettra également de réduire la taille de notre modèle.

Les indices

Le premier indice que nous avons défini est l'indice *n* représentant un certain *type de contrat* parmi les 6 créés. Chacun de ces contrats peut être équivalent à un temps plein (38h/semaine), mi-temps ou $\frac{3}{4}$ temps. Chaque contrat est également attribué à un technicien fixe ou volant, la différence entre ces techniciens est expliquée au point précédent.

Notre second indice, c , représente un **shift** attribué pour une journée, par exemple 5h-12h30. Comme expliqué auparavant, nous avons décidé de ne proposer que 20 shifts différents dans notre modèle.

Le troisième indice est le h soit l'indice lié au temps. Les techniciens peuvent travailler entre 5h et 21h, nous avons décidé après plusieurs tests de scinder les périodes de travail en 32 **tranches horaires** de 30 minutes ($h=1$ représente donc la tranche 5h-5h30, et $h=32$ représente 20h30-21h). Nous avons effectivement débuté avec des périodes de 5 minutes, mais le temps de résolution du modèle dépassant les 30h sans trouver de solution nous avons décidé de réduire la taille de N_h jusqu'à obtenir un modèle trouvant des solutions après un temps de calcul plus raisonnable. Cet indice n'est jamais utilisé seul, mais permet de relier les autres indices au facteur temps.

Ensuite, l'indice z représente une **zone** de l'hôpital à nettoyer. Ces zones sont au nombre de 54 et appartiennent chacune à un des 7 **services** s . Chacune de ces zones fait également d'un **type de zone** o en fonction de si son nettoyage doit être effectué une fois par jour, une fois par semaine ou étalé sur la semaine ($N_o = 3$).

L'indice t représente l'un des X **techniciens** disponibles. Chacun de ces techniciens est considéré comme identique aux autres, à l'exception de certains qui sont déjà assigné au nettoyage d'un service spécifique. Ne sachant pas le N_t optimal pour notre modèle, nous ferons tourner notre modèle avec différentes valeurs de N_t allant de 12 à 20.

Enfin, l'indice j représente l'un des 7 **jours** de la semaine.

Les paramètres

TotPresteⁿ et **EstFixeⁿ** sont les deux paramètres associés à l'indice n . Le premier, ayant une valeur entière, correspond au temps total payé pour un contrat en nombre de tranches horaires h . Le second, binaire, nous indique si le contrat choisi est un contrat pour technicien fixe ou volant.

Les paramètres **TempsTot^c** et **BesManger^c** sont quant à eux liés à l'indice c . **TempsTot^c** renseigne le nombre entier de tranches horaires h comprises dans tel ou tel shift, tandis que **BesManger^c** vaut 1 lorsqu'une pause-déjeuner de 30 minutes est prévue dans le shift c , 0 sinon. Le paramètre **PossTrav^{h,c}**, binaire, permet la liaison avec le facteur temps et nous indique si le shift c permet de travailler pendant la tranche horaire h .

Avec 5 paramètres directement liés, z est l'indice relié au plus grand nombre de paramètres. $NbTMax^z$, dont la valeur est comprise entre 1 et 3, correspond au nombre maximum de techniciens pouvant travailler en même temps dans la zone z . $DurNett^z$ et $DurDim^z$ ont une valeur entière correspondant au nombre de tranches horaires h nécessaire pour le nettoyage de la zone z , respectivement pour les 6 premiers jours de la semaine et pour la prestation dégradée du dimanche. $PossNett_h^z$ et $JaZo_h^z$ sont 2 paramètres binaires valant respectivement 1 si, pendant une tranche horaire h , il est possible de nettoyer la zone z et si l'horaire de nettoyage de celle-ci est embêtant, 0 sinon.

D'autres paramètres sont reliés à z par les ensembles s et o . $TotNettReq^o$ nous indique le nombre de nettoyages requis par semaine pour un type de zone o , soit 7, 1 ou 0. $AdesTFixes^s$ est binaire et nous informe quant à lui de si au moins un technicien est assigné au service s . Enfin, $Attribution_s^t$, seul paramètre relié à l'indice t , vaut 1 lorsque le technicien t est assigné au service s , 0 sinon.

Certains paramètres ne sont reliés à aucun indice et ont une valeur fixe. Le premier d'entre eux, $DurTempsMidi$, est égal au nombre de tranches horaires entre 12 et 14h, soit 4, 12h-14h étant la période durant laquelle les employés peuvent prendre leur pause de midi. Ensuite, $NbMaxS$ équivaut à 2 et représente le nombre maximum de techniciens pouvant travailler dans un service pour lequel des techniciens fixes sont assignés. $NbJoursSem$ représente quant à lui le nombre de jours dans la semaine, soit 7, tandis que $NbJoursSemMoinsUn$ vaut logiquement 6.

Les variables

Nous utiliserons 11 variables, 10 binaires et une entière, pour notre modélisation. 5 d'entre elles sont des variables de décision, les 6 autres étant des variables auxiliaires.

Nos 4 premières variables de décisions concernent les techniciens et sont articulées en 4 niveaux de décision. Premièrement, a^t définit si le technicien t est employé ou non. f_n^t définit ensuite le contrat n attribué au technicien t . Chaque jour j , le technicien t se voit assigner un shift c grâce à la variable b_j^{tc} . Notre variable x_j^{th} décide finalement de si le technicien t travaille pendant la tranche horaire h le jour j . Logiquement, un technicien t n'aura pas de contrat n attribué s'il n'est pas employé. Les shifts c qui peuvent être assignés dépendent du type de contrat n , selon les contraintes qui seront explicitées plus tard. Les tranches horaires h pendant

lesquelles un technicien peut travailler sont quant à elles déterminées directement par le shift c assigné le jour en question.

Notre cinquième variable de décision, y_j^{zh} , qui est aussi notre seule variable entière, détermine le nombre de techniciens nettoyant la zone z pendant la tranche horaire h le jour j .

Nos variables auxiliaires d_j^{sh} , l_c^t , m_j^z , v_j^{zh} et w_j^{zh} , ainsi que q_j^t seront expliquées par après avec les contraintes pour lesquelles nous les avons créées.

Les objectifs

Notre modèle de base comprendra 2 objectifs, à savoir la minimisation du nombre d'heures prestées et la minimisation du nombre de nettoyage pendant des horaires « inconfortables ». La préoccupation première des gestionnaires étant la réduction des coûts, l'objectif de minimisation des heures prestées aura un poids plus important que notre second objectif. Nos 2 objectifs s'exprimant dans la même unité, en nombre de tranches horaires h , nous nous sommes contentés de fixer $P1$ égal à 2 et $P2$ égal à 1. Ci-après la fonction objectif utilisée dans notre modèle : $\min P1 * \sum_{t,n} (f_n^t * TotPreste^n) + P2 * \sum_{z,h,j} (y_j^{zh} * JaZo_h^z)$

Les contraintes

Nos 3 premières contraintes définissent les niveaux de décisions évoqués précédemment pour les variables a^t , f_n^t , b_j^{tc} et x_j^{th} . La contrainte (1) vérifie qu'un technicien soit bien employé pour qu'on puisse lui attribuer un contrat, et s'assure qu'au maximum un contrat soit attribué par technicien. La contrainte (2) a le même fonctionnement que la précédente et vérifie qu'un technicien sans contrat ne se voie pas assigner un shift, tout en s'assurant qu'un shift au maximum lui soit assigné par jour. La contrainte (3) oblige quant à elle un technicien à ne travailler que lorsque son shift le lui permet et empêche donc un technicien sans shift de travailler.

$$\sum_n f_n^t = a^t \quad \forall t \text{ in } S_t \quad (1)$$

$$\sum_c b_j^{tc} \leq \sum_n f_n^t \quad \forall t \text{ in } S_t, j \text{ in } S_j \quad (2)$$

$$x_j^{th} \leq \sum_c b_j^{tc} * PossTrav_h^c \quad \forall t \text{ in } S_t, h \text{ in } S_h, j \text{ in } S_j \quad (3)$$

La contrainte (4) crée le lien entre les variables x_j^{th} et y_j^{zh} en vérifiant qu'à tout moment le nombre de techniciens travaillant soit égal au nombre de techniciens nettoyant une zone. Tandis

que la contrainte (5) garantit qu'une zone n'est nettoyée que lorsqu'elle est disponible et qu'il n'y a pas plus de techniciens qu'autorisés en train de la nettoyer.

$$\sum_z y_j^{zh} = \sum_x x_j^{th} \quad \forall h \text{ in } S_h, j \text{ in } S_j \quad (4)$$

$$y_j^{zh} \leq PossNett_h^z * NbTMax^z \quad \forall z \text{ in } S_z, h \text{ in } S_h, j \text{ in } S_j \quad (5)$$

La contrainte (6) impose qu'à la fin de la semaine un technicien t n'ait pas presté plus d'heures que prévues dans son contrat. La (7) vérifie qu'un technicien auquel nous avons attribué un service a bien un contrat fixe. La contrainte (8) garantit quant à elle qu'un technicien fixe ne travaille pas plus de 5 jours par semaine.

$$\sum_c \sum_j b_j^{tc} * TempsTot^c \leq \sum_n f_n^t * TotPreste^n \quad \forall t \text{ in } S_t \quad (6)$$

$$a^t * Attribution_s^t \leq \sum_n f_n^t * EstFixe^n \quad \forall t \text{ in } S_t, s \text{ in } S_s \quad (7)$$

$$\sum_c \sum_j b_j^{tc} + \sum_s a^t * Attribution_s^t \leq NbJoursSemMoinsUn \quad \forall t \text{ in } S_t \quad (8)$$

Les contraintes (9) et (10) imposent une pause de 30 minutes entre 12 et 14h aux employés ayant un shift incluant une pause-midi. La (9) commence par vérifier si une pause midi est prévue et assigne la valeur correspondante à q_j^t , variable qui vaudra 1 lorsque qu'une pause midi est requise pour le technicien t le jour j. La (10) s'assure que le technicien prenne sa pause dans les heures prévues à cet effet.

$$\sum_c b_j^{tc} * BesManger^c \leq q_j^t \quad \forall t \text{ in } S_t, j \text{ in } S_j \quad (9)$$

$$\sum_{h \text{ in } 15..18} x_j^{th} \leq DurTempsMidi - q_j^t \quad \forall t \text{ in } S_t, j \text{ in } S_j \quad (10)$$

Comme précisé plus tôt, nous avons décidé d'assigner manuellement les contrats pour les techniciens fixes, la contrainte (11) empêche les techniciens fixes de travailler le dimanche tandis que les contraintes (12) nous renseignent sur quel contrat a été attribué à quel technicien fixe.

$$b_7^{tc} = 0 \quad \forall t \text{ in } S_t, c \text{ in } S_c \quad (11)$$

$$f_3^1, f_3^2, f_1^3, f_2^4, f_3^5, f_2^6, f_3^7 = 1 \quad (12)$$

L'ensemble des contraintes (13), (14) et (15) concernent les techniciens fixes et voient apparaître la variable d_j^{sh} , qui nous permet de savoir quand un technicien fixe travaille dans le service s. La contrainte (13) assigne une valeur de 1 à d_j^{sh} si, pendant la tranche horaire h, le jour j, au moins un des techniciens fixes assignés au service s travaille, 0 sinon. Les contraintes

(14) et (15) ont un rôle différent mais complémentaire. (14) interdit aux techniciens de venir aider les techniciens fixes lorsque ceux-ci sont présents. S'il s'agit d'un service sans techniciens fixes ou si les techniciens en question ne sont pas présents, alors jusqu'à deux techniciens peuvent venir travailler dans ce service. (15) s'assure quant à elle que les techniciens fixes n'aillent pas travailler dans un autre service que celui où ils sont assignés. Cela est faisable en obligeant, dans l'ensemble des services sans techniciens fixes, à ce qu'il n'y ait pas plus de techniciens que de techniciens volants travaillant sur le moment.

$$\sum_{t \text{ in } 1..7} \sum_c b_j^{tc} * PossTrav_h^c * Attribution_s^t \leq d_j^{sh} * NbMaxS \quad \forall s \text{ in } S_s, h \text{ in } S_h, j \text{ in } S_j \quad (10)$$

$$\sum_{z \text{ in } ServZone(s)} y_j^{zh} * AdestFixes^s \leq \sum_{t \text{ in } 1..7} \sum_c b_j^{tc} * Attribution_s^t + (1 - d_j^{sh}) * NbMaxS \quad \forall s \text{ in } S_s, h \text{ in } S_h, j \text{ in } S_j \quad (11)$$

$$\sum_s \sum_{z \text{ in } ServZone(s)} y_j^{zh} * (1 - AdestFixes^s) \leq \sum_{t \text{ in } 8..20} \sum_c b_j^{tc} * PossTrav_h^c \quad \forall h \text{ in } S_h, j \text{ in } S_j \quad (12)$$

Les contraintes (16) et (17) concernent elles aussi les techniciens fixes et introduisent la variable l_c^t qui vaut 1 si le technicien t s'est vu assigner le shift c au moins une fois de la semaine, 0 sinon. La contrainte (16) définit la valeur de l_c^t , et la (17) s'assure qu'un technicien fixe travaille toujours pendant le même shift.

$$\sum_c b_j^{tc} \leq l_c^t * NbJoursSem \quad \forall t \text{ in } S_t, c \text{ in } S_c \quad (16)$$

$$\sum_c l_c^t - \sum_n (f_n^t * (1 - EstFixe^n) * NbJoursSemMoinsUn) \leq 1 \quad \forall t \text{ in } S_t \quad (17)$$

Les contraintes (18), (19) et (20) s'occupent de vérifier que chaque zone est nettoyée autant que prévu, et ce grâce à la variable m_j^z qui nous indique si une zone z a été nettoyée ou non le jour j . Les (18) et (19) assignent une valeur à m_j^z , respectivement pour les 6 premiers jours de la semaine et pour le dimanche. La contrainte (20) oblige que chaque zone soit nettoyée le nombre de fois nécessaire.

$$\sum_h y_j^{zh} = DurNett^z * m_j^z \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o), j \text{ in } 1..6 \quad (18)$$

$$\sum_h y_7^{zh} = DurDim^z * m_7^z \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o) \quad (19)$$

$$\sum_j m_j^z = TotNettReq^o \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o) \quad (20)$$

Les contraintes (21), (22), (23), (24) et (25) fonctionnent ensemble pour s'assurer que les zones concernées soient toujours nettoyées d'une traite. 2 variables, v_j^{zh} et w_j^{zh} , ont été créées à cet effet.

v_j^{zh} est la version binaire de y_j^{zh} , les contraintes (21) et (22) garantissent que v_j^{zh} ait une valeur de 1 si et seulement si la zone z est nettoyée pendant la tranche horaire h le jour j , c'est à dire lorsque y_j^{zh} a une valeur non-nulle.

$$\frac{y_j^{zh}}{NbTMax^z} \leq v_j^{zh} \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o), j \text{ in } S_j \quad (21)$$

$$v_j^{zh} \leq y_j^{zh} \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o), j \text{ in } S_j \quad (22)$$

Les contraintes (23) et (24) assignent une valeur à la seconde variable créée w_j^{zh} , qui définit lorsqu'une zone arrête d'être nettoyée en comparant $v_j^{z,h-1}$ et v_j^{zh} . (25) empêche les zones nettoyées en dernière heure de ne pas être considérées comme finies une seconde fois. (26) contraint enfin w_j^{zh} à ne valoir 1 qu'une fois au maximum, garantissant que les zones soient nettoyées en une seule fois.

$$v_j^{z,h-1} - v_j^{zh} \leq w_j^{zh} \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o), h \text{ in } 2..32, j \text{ in } S_j \quad (23)$$

$$w_j^{z1} = 0 \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o), j \text{ in } S_j \quad (24)$$

$$\frac{y_j^{z32}}{NbTMax^z} \leq w_j^{z32} \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o), j \text{ in } S_j \quad (25)$$

$$\sum_h w_j^{zh} \leq 1 \quad \forall o \text{ in } 1..2, z \text{ in } TypZone(o), j \text{ in } S_j \quad (26)$$

Les contrainte (20) à (26) citées précédemment ne s'appliquent qu'aux types de zones 1 et 2, à savoir les zones ayant un nettoyage quotidien ou hebdomadaire. La contrainte (27) concerne le troisième type de zone ayant un nettoyage périodique. Elle vérifie que la zone z ait été nettoyée assez longtemps pendant la semaine pour être considérée comme entièrement nettoyée.

$$\sum_h \sum_j y_j^{zh} = DurNett^z \quad \forall z \text{ in } TypZone(3) \quad (27)$$

Hypothèses découlant du modèle d'optimisation

Au vu de notre modèle, nous avons émis certaines hypothèses quant aux résultats qui seront obtenus.

Notre première hypothèse est que le nombre de techniciens employé ne sera pas minimisé, mais qu'à l'inverse notre modèle privilégiera un nombre plus élevé de techniciens, employant par exemple 2 techniciens à mi-temps au lieu d'un technicien à temps plein. Notre hypothèse découle du fait que, pour un même total d'heures prestées, un nombre de techniciens plus élevé apporterait une plus grande flexibilité.

Notre seconde hypothèse est qu'un contrat fixe ne sera pas attribué si nous ne l'incitons pas via des contraintes ou un objectif. Nous nous basons ici aussi sur la différence de flexibilité entre les 2 cas, un technicien fixe étant beaucoup plus contraint qu'un technicien volant.

Nous avons calculé le temps nécessaire au nettoyage complet de l'extension et arrivons à un total de 358 heures par semaine, ce qui correspond à 9,42 ETPs. N'utilisant que des contrats de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ ou 1 ETP, notre solution optimale ne pourra donc pas utiliser moins de 9,5 ETPs ou moins de 12 techniciens.

Analyse des résultats

Modèle de base

Nous ne connaissons pas le nombre optimal de techniciens à employer pour minimiser nos objectifs. Nous avons donc décidé de faire tourner notre modèle initial en faisant varier le nombre de techniciens disponibles N_t de 12 à 20, afin de déterminer le nombre qui nous permettra de trouver la meilleure solution à notre problème. Cette analyse nous permettra également d'évaluer l'évolution de la faisabilité. Nous avons défini une durée maximale de 2 heures. Ci-dessous le tableau récapitulatif des différents modèles testés (Figure 3) :

Nb Techniciens	Nb solutions	Premier gap	Gap >1h	Gap >2h	Temps rép. optimale	Valeur solution	Valeur borne	Nb ETP's	Nb techniciens employés	Nb JaZo	Temps plein	3/4 temps	mi-temps
12	0	\	\	\	\	\	1444	\	\	\	\	\	\
13	1	10,39%	\	\	3630	1598	1432	10,5	13	2	6	0	0
14	1	8,21%	\	\	4023	1560	1432	10,25	13	2	5	1	0
15	1	8,67%	\	\	1407	1568	1432	10,25	13	10	5	1	0
16	4	28,18%	8,38%	\	2995	1563	1432	10,25	15	5	3	1	4
17	2	23,42%	\	8,56%	4220	1566	1432	10,25	13	8	5	1	0
18	10	38,96%	8,15%	\	1535	1559	1432	10,25	13	1	5	1	0
19	7	42,58%	6,53%	\	2368	1532	1432	10	13	12	5	0	1
20	5	45,43%	10,78%	\	3417	1605	1432	10,5	17	9	1	2	7

Nous pouvons tout d'abord remarquer que pour $N_t = 12$ aucune solution entière n'a été trouvée. Ceci suggère soit que le problème est infaisable, soit que le solveur n'a pas eu assez de temps pour trouver une solution. La première hypothèse nous semble plus probable car, ayant déjà accordé 4,5 ETPs aux 7 techniciens fixes, il reste l'équivalent de 4,92 temps pleins pour 5 techniciens et cela sans prendre en compte les différentes contraintes.

Le temps de résolution diminue de manière générale avec l'augmentation de N_t sans pour autant converger vers une solution optimale, notre meilleur gap n'étant que de 6,53%.

La valeur de notre fonction objectif n'évolue pas linéairement, même si il y a une amélioration générale quand N_t augmente jusqu'à notre meilleure solution à $N_t=19$ nous voyons une dégradation notable à $N_t=20$.

Le nombre de zones nettoyées en horaires inconfortables ne suit pas de tendance cohérente en lien avec N_t , ce qui confirme que cet objectif de minimisation des horaires inconfortables reste subordonné par rapport à l'objectif minimisant les heures prestées.

Au niveau du nombre de techniciens employés, nous pouvons nettement voir une prédominance de solutions avec 13 techniciens employés, prouvant que nos modèles n'exploitent pas l'ensemble des techniciens disponibles.

De manière générale, le solveur trouve relativement rapidement une solution avec un gap aux alentours des 10%, mais peine à améliorer cette solution et n'arrive jamais à descendre en dessous des 5% dans le délai imparti.

Modèle de base avec nombre maximum d'ETPs

Au vu des résultats précédents relativement éloignés de la solution optimale, nous avons pensé à bloquer le nombre maximum d'ETPs accordés à 10 pour voir si cela impactait le temps de résolution et/ou permettait de trouver une meilleure solution. Nous avons effectué ceci avec la contrainte $\sum_t \sum_n f_n^t * TotPreste^n \leq EquivDixETP$. Nous avons également réduit notre recherche en ne considérant que les $N_t=14$ à $N_t=19$, les autres modèles n'ayant pas trouvé de solution ou ayant trouvé une solution avec un gap supérieur à 10%. Nous savons d'ores et déjà que ces modèles sont faisables grâce à la solution obtenue précédemment pour $N_t=19$ qui n'employait que 13 techniciens pour 10 ETPs.

Nb Techniciens	Modèle de base			10 ETPs au maximum		
	ETPs	Gap (optimal)	Temps de calcul (sec)	ETPs	Gap (optimal)	Temps de calcul (sec)
14	10,25	8,21%	4023	\	\	\
15	10,25	8,67%	1407	\	\	\
16	10,25	8,38%	2995	\	\	\
17	10,25	8,56%	4220	\	\	\
18	10,25	8,15%	1535	\	\	\
19	10	6,53%	2368	10,00	6,83%	4129

Le tableau ci-dessus nous prouve que la contrainte n'a pas eu l'effet escompté. Le seul modèle ayant trouvé une solution dans le temps imparti, $N_t = 19$, avait déjà une solution à 10 ETPs qui était de meilleure qualité avec un temps de résolution plus faible.

Modèle de base avec variation de N_c et/ou de N_n

Nous avons également voulu savoir l'impact d'une variation du nombre de shifts N_c et/ou du nombre de type de contrat N_n . Pour ce faire, nous avons testé notre modèle le plus performant, celui où $N_t = 19$, en augmentant ou diminuant N_c de 2, 5 ou 10. Les shifts qui seront ajoutés seront les 21^{ème} à 30^{ème} shifts les plus utilisés sur le site d'Hornu du CH EpiCURA, tandis que ceux retirés seront les 20^{ème} à 11^{ème} shifts les plus utilisés. Nous testerons ensuite ce même modèle en faisant passer N_n de 6 à 4 ou 8. Nous supprimerons les trois-quarts temps dans les deux cas, mais nous ajouterons un quatre-cinquième et trois-cinquième dans le cas où N_n sera égal à 8. Enfin, nous lancerons notre modèle avec une variation de N_c et de N_n pour évaluer l'interaction entre eux. Nous déciderons par après des valeurs de N_c et N_n à tester pour cette variation mixte.

Variation de N_c

Nb Shifts c	Gap	Temps rép. optimale	Valeur solution	Valeur borne	Nb ETP's	Nb techniciens employés	Nb JaZo	Temps plein	3/4 temps	mi-temps
10	8,79%	1371	1570	1432	10,25	15	12	3	1	4
15	12,63%	6552	1639	1432	10,5	16	43	0	6	3
18	10,56%	3283	1601	1432	10,5	15	5	1	6	1
20	6,53%	2368	1532	1432	10	13	12	5	0	1
22	10,44%	2150	1599	1432	10,5	17	3	1	2	7
25	9,08%	2355	1575	1432	10,25	15	17	2	3	3
30	10,61%	2005	1602	1432	10,5	15	6	0	8	0

Ces résultats témoignent globalement de la faible sensibilité du modèle par rapport à N_c . La valeur de la fonction objectif varie effectivement peu, de 1570 à 1639, et sans tendance linéaire.

Nous pouvons cependant remarquer une explosion du nombre de zones nettoyées en horaires inconfortables dans le cas où $N_c = 15$. Ce nombre est égal à 43, soit bien plus du double par rapport aux précédentes itérations. Le fait que cela arrive lorsque $N_c = 15$ et non lorsque $N_c = 10$ pourrait s'expliquer par le fait qu'avec 10 shifts, le solveur dispose de contraintes plus serrées qui impliquent que seule des affectations optimisées sont possibles. Contrairement aux 15 shifts offrant plus de flexibilité apparente mais ne forçant pas le modèle à bien couvrir l'objectif de confort dans le temps imparti.

Variation de N_n

Nb contrats	Gap (optimal)	Valeur objectif	Temps de calcul (sec)
4	10,72%	1673	6894
6	6,53%	1532	2368
8	13,79%	1661	4585

Lorsque nous retirons ou ajoutons des types de contrats, nous observons une nette dégradation de la solution obtenue après deux heures, que cela soit en termes de gap, de valeur de l'objectif ou de temps de résolution.

Variation mixte (N_c et N_n)

Nb contrats n	Nb shifts c	Gap	Temps rép. optimale	Valeur solution	Valeur borne	Nb ETP's	Nb techniciens employés	Nb JaZo	Temps plein	4/5	3/4	3/5	Mi-temps
4	10	5,45%	1706	1523	1440	10	19	3	0	\	\	\	12
4	15	10,50%	2463	1600	1432	10,5	15	4	5	\	\	\	3
4	18	10,28%	4585	1596	1432	10,5	16	0	4	\	\	\	5
4	20	10,72%	6894	1673	1432	10,5	16	8	4	\	\	\	5
4	22	14,46%	2254	1674	1432	11	14	2	7	\	\	\	0
4	25	6,28%	4842	1528	1432	10	13	8	6	\	\	\	0
4	30	10,39%	5272	1598	1432	10,5	17	2	3	\	\	\	7
6	20	6,53%	2368	1532	1432	10	13	12	5	\	0	\	1
8	10	7,97%	913	1556	1432	10,2	16	2	2	1	\	2	4
8	15	9,14%	4563	1576	1432	10,3	16	4	2	0	\	6	1
8	18	9,71%	2770	1586	1432	10,4	15	2	3	2	\	1	2
8	20	13,79%	4585	1661	1432	10,9	16	1	4	0	\	2	3
8	22	7,91%	935	1555	1432	10,2	13	3	6	0	\	0	0
8	25	4,66%	4291	1502	1432	9,8	16	10	2	0	\	1	6
8	30	5,35%	5885	1513	1432	9,8	15	17	2	0	\	6	0

Cependant, comme nous le montre le tableau récapitulatif ci-dessus, la combinaison d'une variation de N_c et de N_n peut amener à des solutions de meilleure qualité. Nous observons en effet pour la première fois des gaps inférieurs à 6% et des valeurs de la fonction objectif inférieures à 1532, notre précédente meilleure solution. Ces bonnes performances apparaissent dans des contextes qui pourraient être qualifiés d'opposés et peuvent donc être expliquées différemment.

En effet, une première solution ayant un gap de 5,45% pour une valeur d'objectif de 1523 apparait lorsque les N_c et N_n minimums sont atteints. Nous pouvons ici estimer que la diminution des N_c et N_n simplifie notre modèle en réduisant l'espace des solutions possibles.

Tandis que deux autres solutions ayant respectivement un gap de 4,66% et 5,35% pour des valeurs objectif de 1502 et 1513 ont été trouvées lorsque les N_c et N_n étaient à leur valeur maximale (respectivement $N_c = 25$ et 30 avec $N_n = 8$). Nous en déduisons dans ce cas que de nouvelles solutions plus optimales sont devenues possible avec l'augmentation du nombre de contrats et de shifts. Ceci peut être confirmé par le fait que nous voyons apparaître pour la première fois des solutions employant 9,8 ETPs contre un minimum de 10 auparavant.

Test des contraintes

Nous voulons savoir à quel point nos groupes de contraintes sont contraignants pour notre modèle. Nous allons donc supprimer temporairement certaines contraintes et analyser l'effet de ce retrait sur la qualité de notre solution ainsi que sur le temps de calcul. Nous avons comme pour le point précédent décidé de réaliser ces tests avec $N_t = 19$ étant donné la meilleure performance générale avec ce nombre de techniciens disponibles.

Nous avons choisi 3 groupes de contraintes pour ces tests. Les contraintes concernées sont celles liées à la pause midi (9-10), celles bloquant les techniciens fixes à 5 jours de travail par semaine (16-17) ainsi que les contraintes obligeant certaines zones à être nettoyées d'une traite (20-26).

Contraintes retirées	Gap (optimal)	Valeur objectif	Temps de calcul (sec)
Aucune	6,53%	1532	2368
Z nettoyées d'une traite	6,41%	1530	1096
Max 5 jours/sem	6,65%	1534	1299
Pause midi	8,32%	1562	1345

Nous pouvons observer dans le tableau ci-dessus que, quel que soit le groupe de contraintes retiré, cela ne nous permet pas d'arriver à une solution optimale avec un gap de 0% dans les deux heures imparties.

Nous remarquons que les 2 premières itérations, respectivement sans les zones nettoyées d'une traite et sans les 5 jours de travail maximum pour les techniciens fixes, obtiennent une solution de qualité similaire au modèle de base avec un temps de résolution réduit de moitié. Le modèle ne prenant pas en compte la pause midi des techniciens trouve quant à lui une solution moins performante que le modèle de base mais également avec un temps de résolution plus court.

Optimisation des temps de trajet

Bien que, comme expliqué dans notre partie « affirmations », nous ne prenons pas en compte les durées de trajet entre les différentes zones, nous considérons que la minimisation des temps de trajet est un aspect important à prendre en compte dans un modèle d'optimisation comme le nôtre. Nous allons donc proposer une méthode qui aura pour objectif de nous permettre, sur base des résultats obtenus par notre modèle, de minimiser les déplacements des techniciens de surface. Cette idée de modélisation en plusieurs étapes nous vient de l'article de Campana et al. (2021) cité dans notre état de l'art. Les auteurs utilisent une modélisation en trois étapes pour un problème similaire de planification des tâches de techniciens de surface.

Ce modèle ne concernera que les techniciens volants étant donné que par définition les techniciens fixes restent dans leur service et ont donc déjà des déplacements négligeables. Aussi, nous nous concentrerons sur une journée au lieu d'une semaine, aucune différence n'existant entre les différents jours au niveau des déplacements.

Une autre utilité de ce nouveau modèle est qu'il permettra d'indiquer les zones nettoyées par un technicien en particulier, indicateur qui n'était pas disponible dans le modèle initial mais qui est primordial pour l'assignation des tâches.

Données

Pour réaliser cette seconde étape nous aurons d'abord besoin de créer une nouvelle base de données reprenant les durées de déplacement entre les différentes zones. Nous les définirons comme suit :

Pour deux zones situées dans un service différent mais au même étage, trente secondes de temps de déplacement. Pour deux zones situées dans un service différent à un étage différent, nous estimons un déplacement de deux minutes.

Nous comptons un temps de trajet nul entre les zones situées dans un même service. Certaines zones étant déjà des agrégations de locaux différents d'un même service, cela n'aurait pour nous pas de sens de considérer un temps de déplacement entre 2 zones alors que les temps de déplacements internes à ces zones ne sont pas comptés.

Nous ajouterons à cette base de données certains des résultats obtenus via notre premier modèle qui sont les suivants : les techniciens volants travaillant le jour en question, leur horaire pour la journée, les différentes zones nettoyées par les techniciens volants (nous devons rechercher manuellement les zones ayant été attribuées à des techniciens volants par notre premier modèle) ainsi que le temps passé à les nettoyer.

Nous inclurons finalement certains paramètres, tel quel ou légèrement modifiés, de notre modèle initial qui serviront aussi dans notre nouvelle modélisation.

Modélisation : Indices

Nous ne garderons que les indices T, Z, H et O de notre précédent modèle. Nous diminuerons leur taille au maximum en fonction des résultats obtenus lors de la première étape afin de simplifier le plus possible la résolution. Nos autres indices n'ont aucune utilité dans notre nouveau modèle.

Dans notre cas, nous analyserons sur base des résultats du lundi de notre modèle initial ou $N_t = 19$ qui nous donnent les tailles d'indices suivantes :

$N_t = 5$ car seuls 5 techniciens volants travaillent le lundi. $N_z = 16$ pour la même raison, 16 zones au total sont nettoyées par des techniciens volants le lundi. Le premier technicien volant commençant son shift à $H = 8$ et le dernier finissant à $H = 32$ nous pouvons restreindre N_h à 25. Enfin, l'indice O (type de zone) aura un sens légèrement différent par rapport au modèle précédent ; il ne définira plus le nombre de nettoyages par semaine mais indiquera juste s'il s'agit d'une zone représentant un nettoyage périodique ou non. N_o sera donc égal à 2.

Modélisation : Paramètres

Nous garderons tout d'abord nos paramètres $PossNett_h^z$, $JaZo_h^z$ et $NbTMax^z$ qui auront la même utilité qu'auparavant.

Certains paramètres seront également réutilisés, mais avec une signification légèrement différente. $DurNett^z$ ne représentera plus le temps nécessaire au nettoyage d'une zone mais le temps effectivement passé à la nettoyer dans notre modèle initial. $PossTrav_h^t$ et $BesManger^t$ dépendront directement du technicien et plus du shift qui lui était attribué, celui-ci étant désormais défini à l'avance.

Notre seul paramètre totalement nouveau sera $DurDep_{z'}^z$, soit une matrice des temps de déplacement entre les différentes zones.

Modélisation : Variables

Au niveau des variables, nous réutiliserons v_h^z et w_h^z en retirant simplement la relation avec l'indice J.

Nous créerons x_h^{tz} , binaire, qui permet la liaison entre une zone nettoyée, le technicien qui la nettoie et l'heure à laquelle elle est nettoyée.

Nous créerons également $e_{z'h}^{tz}$, binaire, qui nous indiquera si le technicien t effectue un déplacement entre deux zones z et z' entre les heures h et h+1.

Modélisation : Contraintes

Nous ne repasserons pas en détail sur toutes les contraintes de ce modèle, la plupart étant de légères adaptations de celles déjà présentes dans notre modèle initial, la nouvelle modélisation complète est visible dans l'**Annexe 5**.

Nous créerons cependant trois nouvelles contraintes permettant ensemble d'assigner une valeur à $e_{z'h}^{tz}$. Ces contraintes sont les suivantes :

$$e_{z'h}^{tz} \leq x_h^{tz} \quad \forall t \in S_t, z \in S_z, z' \in S_z, h \in S_h$$

$$e_{z'h}^{tz} \leq x_{h+1}^{tz'} \quad \forall t \in S_t, z \in S_z, z' \in S_z, h \in S_{h-1}$$

$$e_{z'h}^{tz} \geq x_h^{tz} + x_{h+1}^{tz'} - 1 \quad \forall t \in S_t, z \in S_z, z' \in S_z, h \in S_{h-1}$$

Modélisation : Objectif

Notre nouveau modèle aura pour seul objectif de minimiser les temps de déplacement comme ceci : $Min \sum_t \sum_z \sum_{z'} \sum_{h \in S_{h-1}} e_{z'h}^{tz} * DurDep_z^z$,

Résultats

Nous avons fait tourner ce nouveau modèle pendant six heures et avons obtenu une solution de 4 minutes de temps de déplacement, soit deux trajets entre des zones de services différents. Cela semble peu, mais peut s'expliquer par le fait qu'un technicien ne travaille pas à un certain H entre 2 zones. Bien que le temps total de déplacement soit faible, le gap obtenu est de 87,5% et la borne inférieure est de 30 secondes. Ceci pourrait s'expliquer de différentes manières comme par une relaxation peu informative ou un problème structurel de notre modèle.

Bien que nous ayons spécifié au modèle de ne pas dépasser trois zones nettoyées en horaires inconfortables, soit le nombre obtenu via notre modèle initial, notre modèle nous a permis de trouver une solution sans aucune zone nettoyée à une heure inconfortable, ce qui améliore notre solution initiale et prouve qu'une meilleure solution était possible à la base.

Comparaison avec nos hypothèses

Nous allons maintenant analyser nos solutions du point de vue de nos hypothèses décrites précédemment. Pour rappel la première hypothèse était que le nombre de techniciens de surface employés ne serait pas minimisé et que notre modèle aurait une propension à assigner plus de contrats courts (mi-temps, 3/5) que long (temps plein). La seconde était que les contrats dits volants seraient privilégiés par rapport aux contrats fixes. Ces deux hypothèses se basaient sur le fait que les contrats longs et/ou fixes offraient moins de flexibilité.

Dans le but d'analyser des « bonnes » solutions plus que des solutions « possibles », nous utiliserons nos quatre meilleures solutions, à savoir la solution du modèle de base où $N_t = 19$ (modèle 1), la solution avec $N_t = 19$, $N_c = 10$ et $N_n = 4$ (modèle 2), celle où $N_t = 19$, $N_c = 30$ et

$N_n = 8$ (modèle 3) ainsi que pour $N_t = 19$, $N_c = 25$ et $N_n = 8$ (modèle 4), la meilleure d'entre elles. Le tableau ci-dessous reprend les principales informations qui y sont relatives :

Modèle	Gap	Valeur solution	Nb ETP's	Nb techniciens employés	Nb JaZo	Temps plein	4/5	3/4	3/5	Mi-temps
Modèle 1	6,53%	1532	10	13	12	5	\	0	\	1
Modèle 2	5,45%	1523	10	19	3	0	\	\	\	12
Modèle 3	5,35%	1513	9,8	15	17	2	0	\	6	0
Modèle 4	4,66%	1502	9,8	16	10	2	0	\	1	6

Concernant la propension à assigner plus de contrats courts, nous pouvons voir que cela est parfaitement respecté par le modèle 2 qui n'assigne que des mi-temps et qui est également le seul modèle employant l'intégralité des 19 techniciens disponibles. Ceci est également respecté en majeure partie pour les modèles 3 et 4 qui n'assignent que 2 contrats de temps plein contre respectivement 6 et 7 contrats courts. Le seul des quatre modèles analysés qui ne respecte pas cette hypothèse est le modèle 1 qui n'assigne qu'un mi-temps pour 5 temps plein et emploie 13 techniciens sur les 19 disponibles.

Le seul modèle ne respectant pas notre hypothèse étant celui avec la solution de moins bonne qualité, nous estimons que l'hypothèse selon laquelle des contrats courts sont assignés en priorité pour améliorer la qualité de la solution est plutôt vraie.

La réponse est beaucoup plus claire concernant notre seconde hypothèse. Il n'y a en effet aucun des quatre modèles qui assigne un contrat fixe en plus de ceux définis avant la résolution, ce qui confirme notre hypothèse. En allant plus loin que ces 4 modèles, nous remarquons qu'aucun des modèles testés dans le cadre de ce mémoire n'a assigné de contrat fixe autre que ceux décidés par nos soins.

Comparaison avec la réalité

Comparons maintenant nos quatre solutions avec la réalité. Nous comparerons pour ce faire les shifts attribués aux techniciens fixes ou volants ainsi que leur fréquence aux shifts actuellement utilisés sur le site d'Hornu du CH EpiCURA.

Nous n'analyserons pas les shifts attribués aux techniciens fixes de la même manière que ceux assignés aux techniciens volants. Pour les techniciens fixes, nous regarderons si les shifts attribués correspondent à des horaires « classiques », plus proches d'un 8h-16h dans d'autres professions. L'un des avantages des techniciens fixes est effectivement qu'ils jouissent généralement d'horaires plus conventionnels. En revanche, les techniciens volants peuvent par nature avoir des horaires très différents d'un jour à l'autre et il n'est pas rare qu'ils aient des

shifts très tôt le matin ou très tard le soir. Pour ceux-ci nous comparerons la fréquence d'apparition des shifts à celle effective actuellement au CH EpiCURA.

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
7h - 13h		2		
7h-15h		1	1	1
7h-14h30	2			1
15h-21h		4		
16h-21h	1			
8h-16h			1	1
8h-15h30	1			1
6h-14h	3			1
14h-21h			1	
13h-18h			1	
7h-15h30				1
7h-13h30			3	1

Dans le tableau ci-dessus récapitulant les shifts attribués aux techniciens fixes, les shifts surlignés en jaune représentent un horaire peu probable pour un technicien fixe. Nous pouvons remarquer qu'à l'exception du modèle 2 pour lequel 4 shifts de 15h à 21h sont attribués, nos modèles attribuent dans l'ensemble des shifts correspondant bien à des techniciens fixes. Pour ce qui est du modèle 2, il faut noter qu'il n'y avait que 10 shifts disponibles ce qui peut expliquer pourquoi le modèle a attribué autant de shifts qui ne correspondent pas à un horaire de technicien fixe. Cependant, il est également à noter que nous n'avions pas demandé explicitement à notre modèle d'attribuer des horaires convenables, l'attribution d'horaires confortables signifie donc juste qu'ils étaient efficace dans ces cas précis.

Concernant les horaires de techniciens volants, le tableau ci-dessous reprend les pourcentages d'apparitions de chacun des shifts dans nos quatre modèles :

% actuel	Shift	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4
15,8%	7h - 13h	\	4,7%	\	\
7,8%	5h - 11h	\	2,3%	2,6%	\
6,8%	17h-21h	8,6%	34,9%	5,3%	21,1%
6,1%	7h-15h	14,3%	11,6%	\	7,9%
5,9%	7h-12h	\	\	\	\
5,8%	7h-14h30	\	11,6%	2,6%	2,6%
4,7%	15h-21h	14,3%	7,0%	10,5%	5,3%
4,6%	14h-18h	\	4,7%	\	2,6%
4,5%	16h-21h	25,7%	16,3%	31,6%	26,3%
3,8%	8h-13h	\	7,0%	\	\
3,4%	14h-20h	2,9%	\	\	2,6%
2,7%	8h-16h	2,9%	\	\	2,6%
2,2%	5h-10h	\	\	\	\
1,9%	8h-15h30	5,7%	\	\	\
1,8%	14h-21h	11,4%	\	5,3%	2,6%
1,8%	7h-11h	\	\	\	\
1,6%	13h-18h	\	\	\	\
1,6%	7h30-13h15	2,9%	\	\	\
1,6%	6h-14h	8,6%	\	10,5%	5,3%
1,5%	10h-15h30	2,9%	\	2,6%	2,6%
1,5%	7h-15h30	\	\	2,6%	7,9%
1,5%	5h-9h	\	\	2,6%	\
1,3%	10h-14h30	\	\	7,9%	5,3%
1,2%	14h30-19h30	\	\	\	\
0,8%	7h-13h30	\	\	10,5%	5,3%
0,7%	14h-19h	\	\	2,6%	\
0,7%	8h-14h30	\	\	2,6%	\
0,7%	6h-12h	\	\	\	\
0,6%	8h-12h	\	\	\	\
0,6%	5h-9h30	\	\	\	\

Nous pouvons tout d’abord voir que les deux shifts les plus régulièrement attribués en temps normal, près d’une fois sur quatre, ne sont que très minoritairement attribués dans nos modèles. Nous pouvons également remarquer que le shift numéro 5, 7h-12h, n’est lui jamais attribué dans nos modèles. Les horaires terminant à 21h (surlignés en vert) sont dans nos quatre modèles attribués à plus de 50% des techniciens volants. Ceci est probablement dû au fait que les zones sont généralement disponibles en soirée, un technicien travaillant en soirée aura donc accès à plus de zones en moyenne qu’un technicien travaillant le matin. De cette différence entre les proportions réelles et obtenues par nos modèles nous pouvons penser que les horaires actuellement attribués au CH EpiCURA ne sont pas les plus efficaces et qu’ils sont plus attribués en fonction des préférences ou du confort des techniciens que pour la pure efficacité. Cette conclusion est évidemment à prendre avec des pincettes, nos modèles ne reproduisant pas toutes les contraintes du monde réelle et ne tenant pas compte du facteur humain.

Discussion, limites et perspectives

Nos analyses menées sur différents paramètres du modèle nous ont permis de mettre en évidence certaines caractéristiques et pistes d’optimisation. Nous sommes conscients des limites tant méthodologiques que computationnelles de notre modélisation et essaierons dans cette partie de partager notre pensée à ce sujet.

Nous avons d'abord testé une large plage de valeurs pour N_t afin de trouver la configuration la plus performante pour réaliser nos analyses ultérieures. Bien que la configuration avec 19 techniciens disponibles soit ressortie comme étant la plus appropriée, notre solveur a peiné à converger vers une solution optimale dans les deux heures accordées à cet effet. Le fait que la majorité des gaps obtenus soient supérieurs à 5%, voire 10% dans certains cas, nous questionne sur la qualité des solutions obtenues. Notre tentative d'aiguiller le modèle vers de meilleures solutions en définissant un nombre maximum d'ETPs à affecter n'a pas eu d'effet bénéfique sur notre modèle, ce qui remet en question sa pertinence. Il est probable qu'un temps de résolution plus long et/ou l'utilisation de techniques avancées comme des heuristiques nous permettrait d'améliorer les résultats obtenus, ce qui constitue une perspective d'amélioration de ce mémoire.

Nos tests faisant varier N_c et N_n ont mis en lumière des interactions que l'on pourrait qualifier de contradictoires, notamment le fait que nos solutions les plus performantes ont été trouvées lorsque l'espace de recherche était le plus faible et le plus élevé, mais pas entre les deux. Ces tests ont également été réalisés avec une valeur de N_t fixe, ce qui pourrait masquer de potentielles interactions apparaissant dans d'autres configurations.

Les tests effectués via le retrait de groupes de contraintes témoignent d'une certaine robustesse de notre modèle mais soulignent le fait que, même en assouplissant notre modèle, la solution optimale est restée hors de portée dans la limite des deux heures disponibles. Ceci nous confirme la complexité de notre modèle et nous mène à penser qu'une décomposition de celui-ci pourrait permettre une résolution plus efficace.

En regardant plus en détail nos solutions, nous nous rendons compte que les horaires attribués aux techniciens fixes sont relativement cohérents avec la réalité du terrain. Ça n'est pas le cas pour les horaires attribués aux techniciens volants qui sont majoritairement situés en fin de journée alors que ceux actuellement utilisés sont plus centrés sur le milieu de journée. Cela peut s'expliquer par une plus grande disponibilité des zones en fin de journée et/ou par le fait que notre modèle n'utilise pas les mêmes critères que les décideurs pour attribuer les horaires. Ces décideurs attribuant peut être parfois des horaires en fonction de ce qui était déjà fait auparavant ou en tenant plus en compte les demandes des travailleurs d'avoir des horaires plus conventionnels, parfois au dépend de l'efficacité.

Nous avons également proposé une seconde étape à notre modèle permettant de prendre en compte les aspects de temps de déplacement et d'affectations des tâches qui nous semblent

important dans le cadre de la planification des activités de nettoyage. Le fait que cette optimisation des temps de déplacement prenne place en second lieu induit que ceux-ci sont probablement sous-optimaux par rapport à une approche en un seul modèle, mais étant donné la complexité de notre modèle initial il nous paraissait impertinent de modéliser un seul modèle reprenant également les affectations et déplacements.

Une des limites de notre mémoire est également le fait que nous n'ayons pas intégré d'objectifs liés au bien-être des travailleurs. Bien que le manque de considération du bien-être des travailleurs ait été abordé dans la littérature, nous n'avons pas trouvé de littérature définissant ce qui pouvait l'améliorer, et encore moins de manières de quantifier les bénéfices associés à ce bien-être par rapport à d'autres objectifs.

Aussi, nous avons souligné dans notre partie théorique le manque de littérature concernant la charge de travail des techniciens de surface et l'absence par exemple de durées de nettoyages moyennes pour tel ou tel type de local. Bien que nous ayons basé nos données sur les informations transmises par un formateur de techniciens de surface, celles-ci dépendent de la politique de nettoyage propre au CH EpiCURA et pourraient ne pas être généralisables à d'autres hôpitaux. Ceci est également valable pour les protocoles définis (différences entre techniciens fixes et volants, nettoyages périodiques et journaliers, etc) pour notre modélisation, pour lesquels l'absence de standards a aussi été soulignée dans la littérature.

Enfin, notre modèle ne prend pas en compte certains aspects dynamiques des activités de nettoyages comme les urgences, les absences ou imprévus.

Conclusion

Notre mémoire aura permis d'explorer une problématique encore peu développée dans la littérature qu'est l'optimisation de la planification des activités de nettoyage en milieu hospitalier. Au travers du cas du Centre Hospitalier EpiCURA, nous avons voulu élaborer un modèle de programmation linéaire conçu pour répondre aux objectifs opérationnels tout en prenant en compte diverses contraintes rencontrées par les équipes de nettoyage sur le terrain. D'un point de vue théorique, ce travail vise à étendre l'application des modèles d'optimisation dans le secteur des soins de santé en s'intéressant à une fonction de support généralement sous-évaluée.

Ce travail souligne l'intérêt d'une approche modulaire utilisant plusieurs objectifs. L'ajout d'un second modèle minimisant les trajets entre les zones de nettoyage illustre également une logique de décomposition souvent utilisée dans les modèles de planification avancés. Les différents tests faisant varier certains paramètres nous ont permis de mieux comprendre l'interaction entre ceux-ci et la faisabilité, le temps de résolution ou la qualité des solutions obtenues.

Les limites rencontrées, notamment en termes de scalabilité ou d'incertitudes sur l'optimalité des solutions confirment l'intérêt de travaux futurs explorant des méthodes hybrides ou heuristiques. Les résultats obtenus valident cependant la pertinence de notre approche pour appuyer les décisions de planification des activités de nettoyage en milieu hospitalier.

Ce mémoire se veut donc une base de travail pour des travaux futurs qui permettront d'élargir encore les champs d'application des modèles d'optimisation dans le secteur de la santé.

Bibliographie

Archangelidi, O., Sathiyajit, S., Consonni, D., Jarvis, D., & De Matteis, S. (2021). Cleaning products and respiratory health outcomes in occupational cleaners : A systematic review and meta-analysis. *Occupational and Environmental Medicine*, 78(8), 604-617.
<https://doi.org/10.1136/oemed-2020-106776>

Benallah, S., & Domin, J.-P. (2017). Intensité et pénibilités du travail à l'hôpital : Quelles évolutions entre 1998 et 2013 ? *Travail et emploi*, 152, 5-31. <https://doi.org/10.4000/travailemploi.7755>

Bitzas, S., Ma, S., Pesanelli, K., & Zaia, A. M. (2022). Risk factors and impacts of slips, trips, and falls in janitorial populations: A literature review. *Applied Ergonomics*, 102, 103745.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103745>

Campana, N., Zucchi, G., Iori, M., Magni, C., & Subramanian, A. (2021). An Integrated Task and Personnel Scheduling Problem to Optimize Distributed Services in Hospitals: *Proceedings of the 23rd International Conference on Enterprise Information Systems*, 463-472.
<https://doi.org/10.5220/0010441804630472>

Catania, G., Zanini, M., Cremona, M. A., Landa, P., Musio, M. E., Watson, R., Aleo, G., Aiken, L. H., Sasso, L., & Bagnasco, A. (2024). Nurses' intention to leave, nurse workload and in-hospital patient mortality in Italy: A descriptive and regression study. *Health Policy*, 143, 105032.
<https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2024.105032>

CBC Banque. (2024). 162 millions pour financer le programme Crescendo d'EpiCURA.
<https://cbc.prezly.com/162-millions-pour-financer-le-programme-crescendo-depicura>

Chair, P. W. (2003). *The report of the study group on hours of work*.

Claes, V. (2024). *Epicura : 20 millions d'euros pour investir dans la durabilité*. <https://www.lespecialiste.be/fr/actualites/epicura-nbsp-20-millions-d-rsquo-euros-pour-investir-dans-la-durabilite-nbsp.html>

Clark, A. E., & Milcent, C. (2011). Public employment and political pressure : The case of French hospitals. *Journal of Health Economics*, 30(5), 1103-1112. <https://doi.org/10.1016/j.jhealeco.2011.07.007>

Combaud, F., & Santos, A. C. (s. d.). *Étude de fonctions objectifs pour le problème de planification du nettoyage de débris dans des réseaux urbains*.

Dancer, S. J. (2009). The role of environmental cleaning in the control of hospital-acquired infection. *Journal of Hospital Infection*, 73(4), 378-385. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.03.030>

Dancer, S. J. (2023). Hospital cleaning : Past, present, and future. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 12(1), 80. <https://doi.org/10.1186/s13756-023-01275-3>

Dubois, S., Lebel, D., & Bussi res, J.-F. (2016). Mesure de la charge de travail en pharmacie hospitalière : Analyse descriptive des données d'un établissement de santé québécois de 2004   2013. *The Canadian Journal of Hospital Pharmacy*, 69(6). <https://doi.org/10.4212/cjhp.v69i6.1613>

Eurostat. (2023). *Hospital beds by type of care—Historical data (1960-2020)* [Jeu de données]. Eurostat. https://doi.org/10.2908/HLTH_RS_BDS

Eurostat. (2025). *Government expenditure 2023*. <https://ec.europa.eu/eurostat/cache/visualisations/economy/government-expenditure>

Gerken, S., & Merkur, S. (2020). *Health System Belgium*. European Observatory on Health systems and policies.

Gerken, S., & Merkur, S. (2024). *Health System Belgium 2024*. European Observatory on Health systems and policies.

Junttila, J. K., Koivu, A., Fagerström, L., Haatainen, K., & Nykänen, P. (2016). Hospital mortality and optimality of nursing workload : A study on the predictive validity of the RAFAELA Nursing Intensity and Staffing system. *International Journal of Nursing Studies*, 60, 46-53.
<https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2016.03.008>

Latifa, K., & Saida, A. (2024). «*Optimisation de la Chaîne logistique dans le Secteur de la Santé : Vers un Modèle Intégré*». 7.

Lin, J.-H., Lee, W., Smith, C. K., Yragui, N. L., Foley, M., & Shin, G. (2022). Cleaning in the 21st Century : The musculoskeletal disorders associated with the centuries-old occupation – A literature review. *Applied Ergonomics*, 105, 103839.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103839>

Louhab, Z. (2024). *Modélisation et optimisation de systèmes complexes : Application aux systèmes de flux de personnes*.

Medi-Sphere. (2021). *Le Réseau PHARE, premier réseau hospitalier wallon agréé*.
<https://www.medi-sphere.be/fr/actualites/le-reseau-phare-premier-reseau-hospitalier-wallon-agree.html>

OECD & European Commission. (2024). *Health at a Glance : Europe 2024: State of Health in the EU Cycle*. OECD. <https://doi.org/10.1787/b3704e14-en>

OECD & European Union. (2022). *Health at a Glance : Europe 2022: State of Health in the EU Cycle*. OECD. <https://doi.org/10.1787/507433b0-en>

OMS. (2017). *Pour la pérennité des personnels de santé dans la Région européenne de l'OMS : cadre d'action* [Comité régional de l'Europe]. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/338468/67wd10f-HealthWorkforce-170677.pdf>

Perandio, J. C. (1972). *CHARGE DE TRAVAIL ET RÉGULATION DES PROCESSUS OPÉRATOIRES*.

Peters, A., Otter, J., Moldovan, A., Parneix, P., Voss, A., & Pittet, D. (2018). Keeping hospitals clean and safe without breaking the bank; summary of the Healthcare Cleaning Forum 2018. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 7(1), 132. <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0420-3>

Quéméner, G., De Bosscher, S., Afonso-Pires, C., & Rémy, L. (2023). L'effet du sens du travail sur l'intention de quitter des personnels soignants en EHPAD. Quel impact de la satisfaction au travail et de la charge de travail? *Psychologie du Travail et des Organisations*, 29(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.pto.2022.11.001>

Rho, H. J., Fremstad, S., & Brown, H. (2020). *A Basic Demographic Profile of Workers in Frontline Industries*.

Rutala, W. A., & Weber, D. J. (2019). Best practices for disinfection of noncritical environmental surfaces and equipment in health care facilities: A bundle approach. *American Journal of Infection Control*, 47, A96-A105. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2019.01.014>

Schwierz, C. (2016). *Cost-Containment Policies in Hospital Expenditure in the European Union*. European Commission.

Smet, P. (2023). Generating balanced workload allocations in hospitals. *Operations Research for Health Care*, 38, 100390. <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2023.100390>

SPF Santé Publique. (2023). *Données phares dans les soins de santé*. https://www.gezondbelgie.be/images/HEALTH/Algemene%20ziekenhuizen_2023/FOD%20Volksgezondheid%20-%20Blikvanger%2001%20-%20FR%20-%20Interactive%202.pdf

Suganthirababu, P., Ramana, K., Srinivasan, V., & Shareen Akbar, A. (2024). *Efficacy of cognitive behavioral therapy on mental health in hospital housekeeping staff*. *Psychiatra Danubina*. <https://hrcak.srce.hr/file/472896>

Tekeli-Yesil, S., & Kiran, S. (2020). A neglected issue in hospital emergency and disaster planning : Non-standard employment in hospitals. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101823. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101823>

Van Den Bergh, J., Beliën, J., De Bruecker, P., Demeulemeester, E., & De Boeck, L. (2013). Personnel scheduling : A literature review. *European Journal of Operational Research*, 226(3), 367-385. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.11.029>

Vance, N., Ackerman-Barger, K., Murray-García, J., & Cothran, F. A. (2022). “More than just cleaning” : A qualitative descriptive study of hospital cleaning staff as patient caregivers. *International Journal of Nursing Studies Advances*, 4, 100097. <https://doi.org/10.1016/j.ijnsa.2022.100097>

Vértesy, L. (2020). *Part-time Jobs: Navigating State Regulations and Policies*.
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.10439118>

World Bank Open Data. (2020). World Bank Open Data.
<https://data.worldbank.org/indicator/SH.MED.BEDS.ZS?end=2021&start=2021&view=bar&year=2018>

Yasmine, A., Yassine, O., Farouk, Y., & Hicham, C. (2024). Workload balancing for the nurse scheduling problem : A real-world case study from a French hospital. *Socio-Economic Planning Sciences*, 95, 102046. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.102046>

