

Approche matheuristique pour la location de centres de soins et leurs services avec contraintes de capacité et gestion de pannes

Antonin Carpentier, Laure Brisoux-Devendeville, Corinne Lucet,
Rui Sá Shibasaki, Sami Cherif

MIS UR 4290, Université de Picardie Jules Verne, Amiens
{antonin.carpentier, laure.devendeville, corinne.lucet, rui.sa.shibasaki,
sami.cherif}@u-picardie.fr

Mots-clés : *problème d’emplacement, p -centre, contraintes de capacité, gestion de panne, stratification, matheuristique.*

1 Introduction

L’optimisation et la recherche opérationnelle occupent une place centrale dans l’amélioration de nombreux services, qu’ils soient administratifs, logistiques ou médicaux. Parmi les problèmes couramment étudiés, le problème des p -centres se démarque par son potentiel à optimiser le positionnement des ressources. Ce problème, classé NP-Difficile, vise à déterminer l’emplacement optimal de p centres représentant des ressources disponibles, afin de minimiser la distance maximale entre les points de demande et leur centre le plus proche [4]. Ce problème s’avère particulièrement pertinent dans divers domaines, tels que l’installation de centres de soins, ou de bornes électriques, où un positionnement optimisé peut directement améliorer la qualité de vie. Des travaux récents ont introduit une nouvelle variante de ce problème [2] combinant simultanément des contraintes de capacité [5], des aspects de stratification [1], ainsi que de la gestion de pannes [3]. Cependant, ces travaux ont révélé une limite computationnelle significative. Il a été observé qu’une approche par solveur standard échouait à résoudre optimalement, ou même à trouver une solution réalisable, pour des instances de grande taille (dépassant 600 nœuds et/ou 10 services). C’est dans ce contexte que s’inscrit notre contribution. Nous proposons une approche matheuristique basée sur la définition d’un ordre de priorisation des centres potentiels. L’objectif principal est de générer rapidement des solutions initiales, si possible de bonne qualité pour tout types d’instances.

2 Formulation

Nous modélisons le problème de localisation de centres de soins à l’aide d’une représentation par graphe. Le territoire est défini par un graphe $G = (N, E)$, où l’ensemble des nœuds N représente les villes (avec $|N| = n$), agissant simultanément comme points de demande et localisations candidates pour l’installation d’un nombre p d’unités de soins. L’ensemble E représente le réseau routier valué par la longueur des routes, et nous notons d_{ij} la distance du plus court chemin entre les villes i et j . Soit S l’ensemble des services de soins disponibles. Pour chaque ville $i \in N$ et chaque service de soins $s \in S$, nous définissons une quantité de soins demandée $q_{is} \geq 0$ et une quantité de soins $u_{is} \geq 0$ assurée par les unités de soins, la demande totale pour un type de soins s étant notée $Q_s = \sum_{i \in N} q_{is}$.

L’objectif principal est de déterminer les p emplacements d’unités de soins qui minimisent la distance maximale entre une ville et ses unités de soins assignées, tout en respectant les contraintes de demande. La contrainte centrale est celle de la robustesse aux pannes. Elle impose que pour chaque ville i et chaque service s , deux unités distinctes soient assignées :

une unité principale capable de satisfaire la demande q_{is} , et une unité de secours également capable de satisfaire l'intégralité de cette même demande q_{is} , garantissant ainsi la continuité du service. Des travaux antérieurs ont montré qu'une fonction objectif minimisant la somme des distances maximales, $g = \sum_{s \in S} (A^s + B^s)$, où A^s et B^s sont les distances maximales d'assignation principale et de secours pour le service s , offre le meilleur compromis [2], et nous adoptons donc cette fonction.

Notre hypothèse de départ postule que la faisabilité d'une solution est fortement corrélée à la capacité agrégée des unités de soins sélectionnées. Pour quantifier cette « promesse » d'une unité, nous modélisons l'espace des capacités en définissant un hypercube $\mathcal{H} \in \mathbb{R}_+^{n_s}$ où $n_s = |S|$. Chaque unité potentielle $j \in N$ est représentée par un point $P_j = (x_{j1}, \dots, x_{js})$ dans $\mathcal{H}$, dont la coordonnée x_{js} est sa capacité normalisée pour le soin s : $x_{js} = \frac{u_{js}}{Q_s}$. Ainsi, un point P_j éloigné de l'origine représente une unité de soins à haute capacité globale. Nous trions les N unités potentielles dans une liste $\mathcal{L}$ par ordre décroissant de leur norme euclidienne $\|P_j\|_2$. L'approche matheuristique consiste alors en une réduction drastique de l'espace de recherche. Au lieu d'explorer l'intégralité des $\binom{N}{p}$ combinaisons, nous restreignons la recherche aux $k \cdot p$ maximum premières unités de soins de la liste $\mathcal{L}$ (avec $k \leq \lfloor \frac{n}{p} \rfloor$), considérées comme les plus prometteuses. Cette sous-liste, notée $\mathcal{L}'$ (avec $|\mathcal{L}'| = k \cdot p$), sert de base à l'heuristique. L'objectif final est de sélectionner un ensemble $\mathcal{F} \subset \mathcal{L}'$ de p unités ($|\mathcal{F}| = p$) et d'évaluer sa faisabilité en fixant ces p unités comme ouverts dans le modèle.

3 Expérimentations

Nous avons développé trois stratégies distinctes pour la sélection de ces p candidats au sein de $\mathcal{L}'$. La première approche, dite de « Fenêtre Coulissante », procède à une évaluation systématique au maximum des $(k-1) \cdot p + 1$ ensembles formés par p unités de soins consécutives dans la liste $\mathcal{L}'$. La seconde, nommée « Fenêtre Adaptative », emploie un PLNE relaxé où les contraintes de capacité sont relâchées. Cette méthode remplace itérativement le « maillon faible » de la solution courante par le prochain candidat disponible. La troisième stratégie, le « Choix Dynamique », construit l'ensemble $\mathcal{F}$ en p étapes incrémentales, en priorisant la satisfaction de la contrainte liée aux pannes via une pondération dynamique pour guider la sélection des unités de soins. La comparaison de ces trois stratégies est effectuée sur plusieurs familles d'instances. L'analyse se concentre sur deux aspects principaux : d'une part, la capacité de chaque méthode à identifier des solutions faisables, et d'autre part, la qualité de ces solutions. Cette qualité est mesurée en la comparant à la première solution obtenue par le solveur PLNE standard, ainsi qu'à la solution optimale lorsque cette dernière est connue. L'évaluation détaillée des performances et les résultats obtenus par les différentes méthodes seront présentés.

Références

- [1] Maria Albareda-Sambola, Luisa I. Martínez-Merino, and Antonio M. Rodríguez-Chía. The stratified p-center problem. *Computers & Operations Research*, 108 :213–225, August 2019.
- [2] A. Carpentier, L. Brisoux Devendeville, C. Lucet, R. Sa Shibasaki, and S. Cherif. Stratified p-center problem with capacity constraints and failure foresight. In *The 11th Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT 2025)*, July 2025.
- [3] Inmaculada Espejo, Alfredo Marín, and Antonio M. Rodríguez-Chía. Capacitated p-center problem with failure foresight. *European Journal of Operational Research*, 247(1) :229–244, November 2015.
- [4] R. S. Garfinkel, A. W. Neebe, and M. R. Rao. The m -Center Problem : Minimax Facility Location. *Management Science*, 23(10) :1133–1142, June 1977.
- [5] Maria Paola Scaparra, Stefano Pallottino, and Maria Grazia Scutellà. Large-scale local search heuristics for the capacitated vertex p -center problem. *Networks*, 43(4) :241–255, July 2004.