

# Intégration d'incertitudes temporelles dans la planification d'un réseau de transport de marchandises à capacités limitées

Guillaume Joubert<sup>1</sup>, Fabien Lehuédé<sup>1</sup>, Guillaume Massonnet<sup>1</sup>, Juliette Medina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IMT Atlantique, LS2N, UMR CNRS, Nantes, France

{guillaume.joubert, fabien.lehuede, guillaume.massonnet}@imt-atlantique.fr

<sup>2</sup> CRC Services, Nantes, France

j.medina@crc-services.com

**Mots-clés :** *Service Network Scheduling Problem, incertitudes temporelles, qualité de service*

## 1 Introduction

Dans un contexte où le e-commerce doit proposer des délais de livraison de plus en plus courts, les enjeux écologiques et économiques actuels poussent les entreprises de transport de colis à mieux optimiser leur organisation. Ce travail se concentre sur le problème de conception d'un réseau dans lequel transite un ensemble de colis depuis plusieurs entrepôts jusqu'aux clients via un ensemble de hubs. Nous étudions la planification des mouvements de véhicules dans ce réseau afin de dimensionner le nombre de camions sur chaque segment du réseau, les horaires de départ de ces différents camions et la répartition des marchandises au sein de ces trajets. Nous cherchons à minimiser la somme des coûts de transport et de pénalités liées à d'éventuels retards de livraison. Ce problème d'optimisation est connu sous le nom de Service Network Design Problem (SNDP) [6]. Dans notre cas où l'itinéraire de chaque colis dans le réseau est connu, le problème étudié est dénommé Service Network Scheduling Problem (SNSP) [7]. Nous nous intéressons tout particulièrement à la prise en compte d'aléas temporels dans ce problème de planification, susceptibles d'affecter soit les temps de trajet entre les sites (entrepôts, hubs et clients) du réseau, soit les durées d'accès, chargement, déchargement, tris au sein de ces nœuds. Chaque hub a également une capacité de traitement des colis limitée par heure, définie par le nombre de machines de tri ou taille de l'équipe qui transfère les colis de leur arrivée au hub jusqu'à leur rechargement dans un autre camion.

Si la prise en compte de temps de trajet stochastiques [2, 3, 4, 5] et de capacités de chargement et déchargement aux abords des hubs [8, 9, 10] ont été étudiés indépendamment dans la littérature relative aux problèmes de réseaux de transport de marchandises, nos travaux visent à intégrer ces deux aspects. Ainsi, nous proposons une formulation mathématique du SNSP intégrant des durées incertaines de trajet entre les sites et de traitement dans ces hubs à capacités limitées. Nous évoquerons également des pistes de résolution pour ce problème.

## 2 Modélisation du problème

Soit un réseau de transports  $\mathcal{D} = (\mathcal{N}, \mathcal{A})$  où  $\mathcal{N}$  est un ensemble de hubs et  $\mathcal{A}$  un ensemble de liaisons potentielles directes par camions. Les commodités  $k \in \mathcal{K}$  à livrer ont un hub d'origine  $o_k$ , une date de disponibilité  $l_k$  à  $o_k$ , un hub de destination  $d_k$ , une date de livraison  $l_k$  à  $d_k$ , et un chemin défini  $p_k = v_1^k, \dots, v_{r_k}^k$ , avec  $v_1^k = o_k$  et  $v_{r_k}^k = d_k$ . Des véhicules de capacité  $u_{ij}$  assurent le transport sur les arcs  $(i, j) \in \mathcal{A}$  pour un coût par véhicule de  $f_{ij}$  et avec une durée de trajet  $\tau_{ij}$  dépendant du temps et en proie à des incertitudes. La qualité de service est modélisée par des contraintes probabilistes garantissant que les colis sont livrés à l'heure avec une probabilité  $\alpha$ , et que les éventuels retards n'excèdent pas une constante  $B$  avec une probabilité  $\beta$ .

On définit une variable  $x_{ij}^{kt}$  égale à 1 si la commodité  $k \in \mathcal{K}$  débute un trajet sur l'arc  $(i, j) \in \mathcal{A}$  à l'heure  $t \in \mathcal{T}$ . La variable entière  $y_{ij}^t$  correspond au nombre de camions débutant leurs trajets de  $i \in \mathcal{N}$  à  $j \in \mathcal{N}$  à l'heure  $t \in \mathcal{T}$ . La variable  $t_{d_k}$  modélise l'heure d'arrivée de la commodité  $k \in \mathcal{K}$  à sa destination  $d_k$ . Soit deux coûts de pénalité  $c_k$  et  $C_k$  pénalisant de légers ou d'importants retards pour la commodité  $k \in \mathcal{K}$ , respectivement. Le problème consiste à minimiser la somme  $\sum_{(i,j) \in \mathcal{A}} f_{ij} \sum_{t \in \mathcal{T}} y_{ij}^t + \sum_{k \in \mathcal{K}} [c_k \max(0, t_{d_k} - l_k) + C_k \max(0, t_{d_k} - (l_k + B))]$  des coûts de transports et des pénalités de retards sous incertitudes temporelles et avec capacités de traitement limitées des hubs. La modélisation s'inspire du Fixed-charge multicommodity Network Flow Problem [1].

### 3 Plan d'expérimentations

Après avoir estimé les lois qui régissent l'incertitude liée aux temps de parcours entre les hubs et de traitement dans les hubs avec précision à partir de l'étude de données historiques, nous évaluerons l'impact de la prise en compte de ces incertitudes temporelles sur la qualité de service fournie aux clients. Nous prévoyons de réaliser des expérimentations réalistes basées sur une collaboration avec un partenaire industriel.

### Remerciements

Ce projet a le soutien financier de l'ANR dans le cadre du projet de laboratoire commun CRC Lab entre IMT Atlantique, équipe modelis du laboratoire LS2N et l'entreprise CRC Services.

### Références

- [1] Teodor Gabriel Crainic *Service network design in freight transportation*. European journal of operational research, 122(2), :272–288, 2000
- [2] Emrah Demir et al. *A green intermodal service network design problem with travel time uncertainty*. Transportation Research Part B : Methodological, 93, :789–807, 2016.
- [3] Yi Zhao et al. *A chance-constrained stochastic approach to intermodal container routing problems*. PloS one, 13(2), 2018.
- [4] Thibault Delbart et al. *Uncertainty in intermodal and synchromodal transport : Review and future research directions*. Sustainability, 13(7), :3980, 2021
- [5] Giacomo Lanza et al. *Scheduled service network design with quality targets and stochastic travel times*. European Journal of Operational Research, 288(1) :30–46, 2021.
- [6] Teodor Gabriel Crainic and Mike Hewitt. *Service network design*. Network Design with Applications to Transportation and Logistics, :347–382, 2021.
- [7] Mike Hewitt and Fabien Lehuédé. *The service network scheduling problem*. Eleventh Triennial Symposium on Transportation Analysis conference (TRISTAN XI), 2022
- [8] Haotian Wu et al. *Service network design for same-day delivery with hub capacity constraints*. Transportation Science, 57(1), :273–287, 2023
- [9] Edward He et al. *An exact algorithm for the service network design problem with hub capacity constraints*. Networks, 80(4), :572–596, 2022
- [10] Chungjae Lee et al. *Constraint Programming to Improve Hub Utilization in Autonomous Transfer Hub Networks*. arXiv preprint arXiv :2305.03191, 2023