

Optimisation renforcée par apprentissage pour le SSND-RRM

Résumé

Le stage vise à développer une approche d'optimisation guidée par apprentissage automatique pour résoudre le problème de *Scheduled Service Network Design with Resource and Revenue Management* (SSND-RRM). Le SSND-RRM intègre la planification tactique des services fluviaux réguliers, la gestion des flottes et des terminaux, sur la base des prévisions de demandes provenant de différents types de clients (réguliers, spot), en optimisant les décisions d'acceptation et d'acheminement de celles-ci sur le moyen-terme. L'objectif du stage est d'explorer une approche hybride, consistant à mettre en œuvre un modèle d'apprentissage automatique chargé de générer des solutions partielles, et un module d'optimisation qui devra compléter ces solutions. Cette combinaison vise à associer la capacité prédictive de l'apprentissage et la rigueur de l'optimisation pour résoudre efficacement le problème, en particulier pour les instances de grande taille.

Descriptif du sujet de stage

Les modèles de type SSND dans le contexte du transport intermodal de marchandises étant désormais largement étudiés [Bilegan et al, 2022], l'enjeu principal porte sur l'élaboration d'un cadre méthodologique permettant leur résolution avec un niveau d'efficacité au moins équivalent aux approches d'optimisation classiques. Le défi consiste à structurer une démarche combinant apprentissage et optimisation de manière cohérente, capable de produire des décisions de qualité sur des instances réalistes.

Le premier verrou concerne l'hybridation entre apprentissage automatique et optimisation. Il s'agit de concevoir un modèle d'apprentissage automatique capable de générer des solutions partielles qui serviront de base à des méthodes d'optimisation chargées de compléter ces propositions pour en faire des solutions de haute qualité. Ce verrou est majeur car le modèle d'apprentissage automatique doit apprendre une structure décisionnelle combinatoire complexe, généralement imposée par des contraintes explicites associées aux formulations d'optimisation. Les solutions générées doivent ainsi être cohérentes et exploitables afin de réduire l'espace de recherche de façon pertinente pour l'optimisation.

Le deuxième verrou concerne la scalabilité et la stabilité numérique. Les modèles de SSND-RRM font intervenir plusieurs milliers de variables binaires et continues décrivant les services, la flotte, les terminaux et les demandes, tout cela dans une représentation espace-temps du réseau de transport. Le défi est de garantir que l'approche hybride reste robuste (en termes de qualité de la solution) sur des instances réalistes, tout en maintenant des temps de calcul raisonnables. Il s'agit donc ici de s'assurer que l'intégration de l'apprentissage automatique n'introduise pas d'instabilités numériques et permette de maîtriser la complexité croissante du problème.

Le troisième verrou porte sur la structuration des solutions partielles. L'enjeu est d'identifier une décomposition pertinente de l'ensemble des variables de décision afin de faciliter à la fois le processus d'apprentissage automatique et la résolution du problème d'optimisation.

L'originalité du projet réside donc dans la conception et la mise en œuvre d'une approche hybride combinant apprentissage automatique et optimisation pour résoudre efficacement le problème de conception de réseaux de services de transport intermodal avec gestion du revenu et des ressources (SSND-RRM). Plutôt que de remplacer l'optimisation par un modèle prédictif [Colak et al., 2025], l'objectif est ici d'utiliser l'apprentissage automatique pour générer des solutions partielles structurées, qui sont ensuite complétées par des méthodes d'optimisation afin d'obtenir des solutions de haute qualité. L'approche s'apparente à des travaux existants exploitant l'apprentissage pour guider la recherche combinatoire [Bengio et al., 2021], par exemple la sélection d'opérateurs dans les métaheuristiques [Karimi-Mamaghan et al., 2022], ou pour orienter les stratégies de branchement

dans les méthodes exactes [Lodi et Zarpellon, 2017]. Une particularité de l'approche proposée est d'utiliser l'apprentissage automatique pour générer des solutions partielles, plutôt que d'intervenir sur les mécanismes internes des méthodes d'optimisation.

Le projet vise ainsi à apporter une contribution originale en recherche opérationnelle, en explorant les manières dont l'apprentissage automatique peut être intégré pour enrichir les méthodes de résolution de problèmes complexes, plutôt que de se substituer aux méthodes d'optimisation, notamment dans le contexte du transport fluvial intermodal de marchandises.

Ce stage a vocation à déboucher sur une poursuite en thèse.

Profil recherché

Étudiant·e en **Master 2** (ou équivalent) en Informatique, avec :

- De bonnes compétences en **modélisation mathématique** de problèmes d'optimisation (une expérience avec des solveurs tels que CPLEX ou Gurobi serait un plus)
- Une première expérience en **IA / machine learning** (réseaux de neurones, ML, RL...)
- Un bon niveau en **programmation** (Python, C, C++, Java ou C#)
- Un bon niveau en **anglais**

Équipe encadrante

- Chenghao WANG (chenghao.wang@uphf.fr),
- Ioana BILEGAN (ioana.bilegan@uphf.fr)
- Christophe WILBAUT (christophe.wilbaut@uphf.fr)

Informations pratiques

- **Date de début souhaitée** : 01/03/2026
- **Durée** : 6 mois
- **Rémunération** : **550 € / mois** (Sous réserve d'obtention, confirmation en janvier 2026, sujet prioritaire)
- **Lieu de travail** :
 - LAMIH UMR CNRS 8201, <https://www.uphf.fr/lamih>
 - Campus Mont Houy, Valenciennes, France

Dossier de candidature

Les dossiers de candidature doivent être envoyés par email à chenghao.wang@uphf.fr, ioana.bilegan@uphf.fr, christophe.wilbaut@uphf.fr et doivent contenir :

- CV
- Lettre de motivation
- Lettre(s) de recommandation
- Les derniers relevés de notes (M1 et M2)

Références

- Yoshua Bengio, Andrea Lodi, Antoine Prouvost, “Machine learning for combinatorial optimization: A methodological tour d’horizon.” *European Journal of Operational Research* 290.2 (2021): 405-421.
- Ioana C. Bilegan, Teodor Gabriel Crainic, Yunfei Wang, “Scheduled service network design with revenue management considerations and an intermodal barge transportation illustration.” *European Journal of Operational Research* 300.1 (2022): 164-177.
- Merve Colak, Leonard Heilig, Stefan Voss, “Reinforcement learning in the context of container terminals.” *Flexible Services and Manufacturing Journal* (2025): 10.1007/s10696-025-09643-4
- Maryam Karimi-Mamaghan, Mehrdad Mohammadi, Patrick Meyer, Amir Mohammad Karimi-Mamaghan, El-Ghazali Talbi, “Machine learning at the service of meta-heuristics for solving combinatorial optimization problems: A state-of-the-art.” *European Journal of Operational Research* 296.2 (2022): 393-422.
- Andrea Lodi, Giulia Zarpellon, “On learning and branching: a survey.” *Top* 25.2 (2017): 207-236