

# Matrice-dominance en optimisation multi-objectifs pour la replanification en temps réel d'un système ferroviaire en zone dense

Hugo Belhomme<sup>1,2</sup>, Stéphane Dauzère-Pérès<sup>2</sup>, Mathieu Gagnon<sup>1</sup>, François Ramond<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SNCF Innovation & Recherche, Saint-Denis, France

{hugo.belhomme, mathieu.gagnon, francois.ramond}@sncf.fr

<sup>2</sup> Mines Saint-Etienne, Univ Clermont Auvergne, CNRS, UMR 6158 LIMOS, CMP, Département  
Sciences de la Fabrication et Logistique, Gardanne, France

dauzere-peres@emse.fr

**Mots-clés :** *optimisation multi-objectifs, dominance, aide à la décision, replanification en temps réel, système ferroviaire en zone dense.*

## 1 Contexte et motivations

En optimisation multi-objectifs, le concept de dominance entre solutions est au cœur des méthodes de résolution. Par définition, les solutions de problèmes multi-objectifs sont évaluées sur différents critères. La dominance permet de comparer ces solutions. On dit qu'une solution  $s_2$  domine une solution  $s_1$  au sens de Pareto si  $s_2$  est strictement plus performante que  $s_1$  sur au moins un critère, et au moins équivalente sur les autres critères. On nomme front de Pareto l'ensemble de solutions non dominées au sens de Pareto d'un problème d'optimisation multi-objectifs.

Cette définition de la dominance est rigide et a tendance à ne plus fonctionner en pratique. Plus le nombre d'objectifs augmente, plus l'intersection entre le front de Pareto et l'ensemble des solutions est grande [3].

Nous avons cherché dans la littérature des auteurs qui présentent des variations de la définition de dominance pour positionner notre proposition. Köppen *et al.* [4] proposent d'utiliser une dominance floue, c'est-à-dire que la dominance d'une solution par une autre ne serait plus un booléen mais une valeur entre 0 et 1. Ikeda *et al.* [5] introduisent une autre alternative, l' $\alpha$ -dominance, qui consiste à fixer des bornes inférieures et supérieures aux rapports entre les objectifs.

D'après nos recherches bibliographiques, des modifications de définition de dominance ont déjà été proposées, mais à notre connaissance aucune ne se base sur l'espace des solutions. La section qui suit est une formalisation de notre proposition.

Nous sommes intéressés par l'optimisation multi-objectifs dans le cadre de la replanification en temps réel d'un système ferroviaire en zone dense étudiée dans [1] et [2]. Nous voulons formaliser les liens entre les gains sur les différents objectifs à optimiser et la complexité des actions à mettre en œuvre dans une solution de replanification.

## 2 Matrice de gains exigés et matrice-dominance

Dans notre contexte industriel d'aide à la décision, nous voulons proposer une dominance qui tient compte de la réalité des contraintes du métier. Cette proposition vise à **mieux représenter les nuances entre les actions qui composent les solutions**. On souhaite pouvoir formaliser le fait que l'ajout d'une certaine action à une solution de replanification peut ne pas

être intéressant car cette action est trop coûteuse par rapport aux gains apportés. Ainsi, on pourrait utiliser ces liens entre les types d'actions et les différents objectifs, qui sont connus et maîtrisés par les utilisateurs, pour aider à la résolution du problème et améliorer les recommandations. L'objectif de cette proposition est de prendre en compte l'espace des actions en plus de l'espace des objectifs lors de la construction d'un ensemble de solutions non dominées.

Avoir un lien direct entre les actions qui composent les solutions et la dominance peut également permettre d'**expliquer pourquoi une solution a été choisie ou non** parmi un ensemble de solutions non dominées. Cette explicabilité a un fort intérêt pour notre application industrielle : elle permet aux utilisateurs de mieux comprendre le fonctionnement de l'outil et de favoriser son appropriation. Il s'agit aussi d'un enjeu commun à tous les algorithmes dits "d'intelligence artificielle" : réussir à expliquer les choix effectués et sortir d'un fonctionnement purement "boîte noire".

Nous proposons une extension de la définition de dominance en utilisant la notion de **matrice de gains exigés**. Une matrice de gains exigés définit, pour chaque décision et pour chaque critère à optimiser, un niveau d'exigence à satisfaire exprimé en terme de gain sur le critère considéré. Lorsque la dominance entre deux solutions est testée, leurs niveaux d'exigence sont comparés aux valeurs de leurs critères. Il s'agit ainsi de différencier les types et les nombres d'actions qui composent les solutions. Certaines solutions ont un niveau d'exigence plus élevé que d'autres car les actions qui les composent sont plus complexes à mettre en œuvre (par exemple plus coûteuses en temps). Selon les types d'actions, les exigences peuvent porter sur différents critères.

### 3 Mise en œuvre et perspectives

Ce concept de matrice-dominance peut être utilisé comme un enrichissement de la notion de dominance ou bien comme une condition utilisable dans des méthodes de résolution. Il est ainsi possible de concevoir une heuristique qui n'explore les fils d'un nœud que s'ils ne sont pas matrice-dominés par leur parent.

En pratique, l'utilisation de matrices de gains exigés demande un travail de discussion avec les décideurs pour inscrire leurs exigences métier dans ce système.

Nous travaillons actuellement à la mise en œuvre de notre proposition de matrice-dominance dans notre contexte industriel de replanification de lignes en temps réel dans un système ferroviaire en zone dense. Des résultats expérimentaux seront présentés à la conférence.

## Références

- [1] Estelle Altazin and Stéphane Dauzère-Pérès and François Ramond and Sabine Tréfond. *Rescheduling through stop-skipping in dense railway systems*. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, Vol. 79, pages 73-84, 2017.
- [2] Estelle Altazin. *Stabilité de la production de mobilité - Application à la zone dense*. Thèse de doctorat de l'Université de Lyon opérée à l'École des Mines de Saint-Etienne, 2018.
- [3] Saku Kukkonen and Jouni Lampinen. *Ranking-dominance and many-objective optimization*. IEEE Congress on Evolutionary Computation 2007, pages 3983–3990, 2007.
- [4] Mario Köppen, Raul Vicente-Garcia and Bertram Nickolay. *Fuzzy-pareto-dominance and its application in evolutionary multi-objective optimization*. EMO 2005 : Evolutionary Multi-Criterion Optimization, pages 399–412, 2005.
- [5] Kokoro Ikeda, Hajime Kita and Shigenobu Kobayashi. *Failure of pareto-based moeas : Does non-dominated really mean near to optimal ?* Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation, pages 957–962, 2001.