

# Caractérisation d’espaces de recherche pour le problème de job shop flexible avec ressources de transport

Israël Tsogbetse<sup>1</sup>, Julien Bernard<sup>2</sup>, Hervé Manier<sup>1</sup>, Marie-Ange Manier<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ. Bourgogne Franche-Comté, FEMTO-ST Institute, CNRS, UTBM, 90010 Belfort, France  
`{israel.tsogbetse, herve.manier, marie-ange.manier}@utbm.fr`

<sup>2</sup> Univ. Bourgogne Franche-Comté, FEMTO-ST Institute, CNRS, UFC, 25000 Besançon, France  
`julien.bernard@femto-st.fr`

**Mots-clés** : *job shop flexible, transport, paysage de fitness, codages, voisinages*

## 1 Introduction

Pour un même problème d’optimisation, plusieurs espaces de recherche peuvent être générés. La différence des espaces est induite par des paramètres parmi lesquels nous comptons le codage (représentation de solution) et le voisinage qui sont des composantes susceptibles d’avoir un impact non négligeable sur la performance des méthodes de résolution à l’instar des méta-heuristiques. Dans cette étude, nous utilisons d’une part l’analyse de paysage de fitness pour caractériser des espaces de recherche en fonction de différents couples de codages et voisinages pour le problème de job shop flexible avec ressources de transport (FJSPT). D’autre part, les propriétés de ces espaces sont confrontées avec les performances d’une recherche taboue.

## 2 Problème et analyse de paysage de fitness

Le problème de job shop flexible avec ressources de transport considéré (FJSPT) consiste en un ensemble  $J$  de  $n$  jobs, un ensemble  $M$  de  $m$  machines multifonctionnelles et un ensemble  $R$  de  $r$  ressources de transport identiques. Chaque job  $J_i \in J$  est composé d’un ensemble  $N_i$  de  $n_i$  opérations ordonnées, tel que  $N_i = \{O_{ij} : j = 1, 2, \dots, n_i\}$ . Chaque opération  $O_{ij}$  est exécutée de façon non préemptive sur une machine  $k$  choisie parmi les machines candidates de ladite opération ( $k \in M_{ij} \subseteq M$ ) avec un temps de traitement  $p_{ijk}$ . Une machine ne peut traiter qu’une opération à la fois. Chaque job nécessite plusieurs transports, d’abord d’une unité de chargement vers la première machine à traiter le job, ensuite d’une machine à une autre suivant les opérations de chaque job, puis vers une unité de déchargement. Chaque transport de job nécessite une des ressources de transport. La ressource de transport sélectionnée peut être tenue d’effectuer un trajet à vide de son emplacement actuel à l’emplacement où le job doit être récupéré, sauf si ces deux emplacements ne sont pas les mêmes. Les trajets à vide et en charge ont des durées distinctes. L’objectif est de déterminer simultanément l’affectation des machines et le séquençement des opérations en plus de l’affectation des ressources de transport et de l’enchaînement des tâches de transport, en minimisant le temps total d’exécution ( $C_{\max}$ ).

L’analyse de paysage de fitness permet de représenter et d’étudier la structure des espaces de recherche pour les problèmes d’ordonnancement d’atelier ([4]). Les paysages possèdent plusieurs propriétés dont deux sont investiguées dans la présente étude : la rugosité et la neutralité. La rugosité fait référence à la quantité et à la distribution des optima locaux. La neutralité, quant à elle, s’intéresse aux solutions voisines ayant la même valeur de fitness. Cette étude est une extension de travaux réalisés précédemment pour un job shop classique [3].

### 3 Expérimentations et résultats

Nous avons examiné trois codages : le codage par job (**jle**) qui représente une solution par une liste d’entiers de taille  $\sum n_i$  dont chaque élément correspond à un numéro de job ; le codage par opération (**ole**) qui est une liste ordonnée de l’ensemble des opérations ; et le codage machine (**mch**) avec une liste de  $m$  listes d’opérations affectées pour chaque machine. À chacun de ces codages, trois opérateurs de voisinage classiques ont été associés : l’échange (**swp**), l’insertion (**ins**) et l’inversion (**rev**). Pour **mle**, les opérateurs sont adaptés pour prendre en compte la réaffectation de machine. Les 34 instances utilisées ont été tirées des benchmarks FJSPT de la littérature [1] avec  $n = [5, 6, 7, 8, 10, 15]$ ,  $m = [4, 8, 11, 12, 13, 16, 17, 18]$  et  $r = 2$ . Pour chacun des paysages générés par les couples codage-voisinage, sur 10 marches aléatoires de 1000 itérations parmi les solutions faisables, nous mesurons la rugosité à l’aide de la distance de corrélation et la neutralité via une métrique qui en calcule le taux (voir [2]).

Sur la figure 1, quel que soit le codage, les distances de corrélation de **swp** sont moins élevées que celles de **ins**. Cela traduit un paysage plus rugueux pour **swp** avec donc une quantité plus élevée d’optima locaux. En ce qui concerne la neutralité, **ole** enregistre des taux de neutralité plus grands que **jle** et **mle**, à l’exception de **mle-rev** dont certaines instances ont un paysage très neutre et d’autres beaucoup moins étalant ainsi sa boîte à moustache entre 5 et 98%. Il en ressort que les codages et les opérateurs de voisinage ont un impact réel sur la structure des paysages. En complément à l’analyse du paysage, les couples codage-voisinage ont été testés sur une recherche taboue générique exécutée 10 fois pour différentes durées d’exécution. On observe une prédominance de **jle** dans le lot des meilleurs  $C_{max}$  obtenus pour chaque instance. Le codage et le voisinage ont un impact non-négligeable sur les paysages de fitness du FJSPT. Leur choix est un enjeu pour la performance des métaheuristiques de type recherche locale.

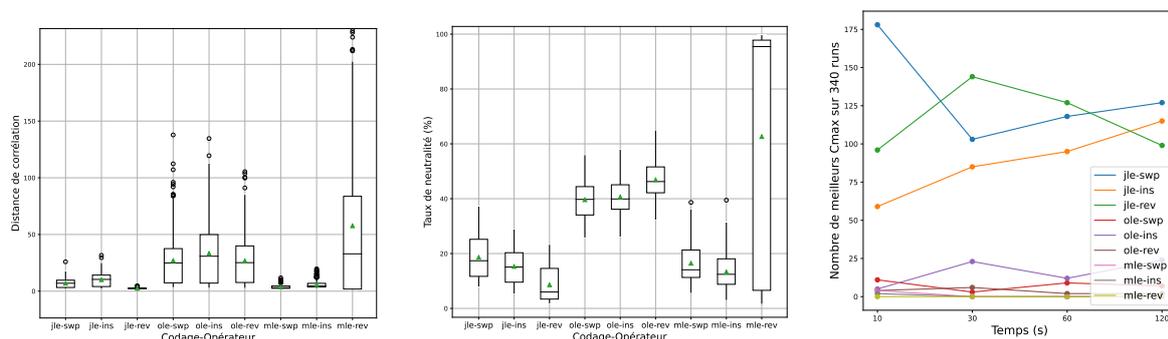


FIG. 1 – Distance de corrélation, taux de neutralité et nombre des meilleurs  $C_{max}$

### Références

- [1] Seyed Mahdi Homayouni and Dalila B. M. M. Fontes. Production and transport scheduling in flexible job shop manufacturing systems. *Journal of Global Optimization*, 79(2) :463–502, 2021.
- [2] Katherine M. Malan and Andries P. Engelbrecht. A survey of techniques for characterising fitness landscapes and some possible ways forward. *Information Sciences*, 241 :148–163, 2013.
- [3] Israël Tsogbetse, Julien Bernard, Hervé Manier, and Marie-Ange Manier. Impact of encoding and neighborhood on landscape analysis for the job shop scheduling problem. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10) :1237–1242, 2022.
- [4] Feng Zou, Debao Chen, Hui Liu, Siyu Cao, Xuying Ji, and Yan Zhang. A survey of fitness landscape analysis for optimization. *Neurocomputing*, 503 :129–139, 2022.