

# Résolution d'un problème intégré de transport stockage et ordonnancement à une machine

Lucas Berterottière<sup>1</sup>, Claude Yugma<sup>1</sup>, Stéphane Dauzère-Pérès<sup>1</sup>

Mines Saint-Etienne, Univ Clermont Auvergne, CNRS, UMR 6158 LIMOS, Centre CMP,  
Manufacturing Sciences and Logistics Department, F - 13541 Gardanne, France  
{berterottiere,yugma,dauzere-peres}@emse.fr

**Mots-clés :** *Ordonnancement, complexité, algorithme d'approximation*

## 1 Introduction

La fabrication de semi-conducteurs est un processus extrêmement compliqué comportant de nombreuses étapes de production (jusqu'à 800). Ces étapes sur les machines sont entrecoupées d'étapes de transport où un véhicule transporte lot (*jobs* ou tâches) à transformer d'une machine à une autre. L'objectif global de ce travail est d'intégrer les opérations de transport et d'ordonnancement des tâches afin de minimiser la durée totale des opération (Makespan) tout en tenant compte des règles d'arrivée des lots (First-In-First-Out) et des places limitées sur les buffers.

Nous avons étudié une version simplifiée de ce problème à une machine où les lots sont apportés du dépôt au port d'entrée de la machine. Nous avons démontré que ce problème est NP-difficile au sens fort et nous avons proposé un algorithme d'approximation polynomial de ratio 5/4.

## 2 Travaux connexes et motivations

En considérant le véhicule comme une machine à temps d'exécution constants, on peut considérer notre problème comme une version du Flow-Shop à 2 machines. La version initiale du Flow-Shop à 2 machines a été prouvée polynomiale par Gilmore et Gomory [2], la version à 2 machines avec contrainte de blocage sur la deuxième machine (quand une tâche a fini d'être exécutée sur la première machine elle ne libère pas celle-ci tant qu'elle ne commence pas son exécution sur la deuxième) est aussi prouvée polynomiale par Johnson [3], mais la version qu'on pourrait qualifier d'intermédiaire, c'est-à-dire avec un buffer de taille limitée, est elle NP-difficile au sens fort (Papadimitriou, Kanellakis [4]). Le problème étudié est plus simple que le Flow-Shop à 2 machines et buffer de taille limitée car la première machine à considérer (le véhicule) a des temps d'exécutions constant. Un autre problème proche de celui étudié est le problème d'ordonnancement à une seule machine avec transport cyclic. Ici, on a une machine avec buffer illimité, un véhicule de capacité unitaire de type "métro", c'est-à-dire qui ne n'attends pas pour charger un lot. Ce problème diffère de celui étudié en deux points : la machine possède un buffer illimité, ce qui est un aspect plus facile que le problème étudié et les lots doivent être ramenés au dépôt une fois traité, ce qui n'est pas demandé dans notre problème. Ce problème a été prouvé NP-difficile au sens fort par Espinouze *et. al.* [1] et nous a permis de trouver un problème auquel réduire le problème étudié.

Le problème que nous avons étudié est donc à la limite de la NP-difficulté puisque certains problèmes très proches sont polynomiaux et d'autres NP-durs. Parmi tous les problèmes étudiés il n'y a cependant pas de problème qui dominant ou sont dominés par le nôtre. L'étude que nous avons mené sur ce problème a servi à mieux caractériser le problème global que nous étudions ainsi qu'une tactique locale pour le problème avec autant de machines que de véhicules.

### 3 Description du problème

Le problème que nous étudions est donc un problème d'ordonnancement sur une machine ayant un buffer de capacité unitaire. Un véhicule fait les trajets du dépôt à la machine pour mener un à un les  $n$  jobs  $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$  où  $J_i$  a un temps d'exécution correspondant  $p_i$ . Le véhicule a un temps d'exécution constant  $t$ .

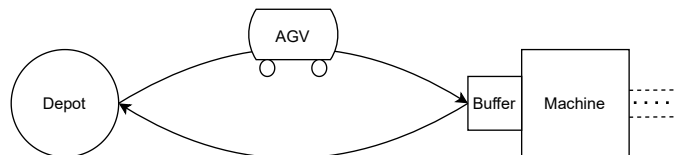


FIG. 1 – Problème d'ordonnancement avec un véhicule automatique guidé (AGV) et une machine avec un buffer de taille 1

L'objectif de ce problème est le makespan, le temps de complétion de la dernière tâche de l'ordonnancement. Le choix d'un objectif purement productif dans un problème incluant des opérations de transport et de stockage est dû à l'environnement dont est extrait ce problème, l'industrie du semi-conducteur, où les coûts de production sont bien plus élevés que les coûts de transports et de stockage.

### 4 Travaux présentés à la conférence et futurs travaux

La preuve de NP-complexité du problème par réduction au problème de **3-Partition** sera présentée ainsi qu'un algorithme d'approximation permettant de résoudre le problème de ratio  $5/4$ . Le lien sera aussi fait entre les travaux effectués sur ce problème et la généralisation de celui-ci avec plusieurs machines et plusieurs véhicules. Enfin, les travaux en cours seront évoqués afin de donner une vision des travaux en cours.

### Références

- [1] Marie Laure Espinouse, Grzegorz Pawlak, and Malgorzata Sterna. Complexity of Scheduling Problem in Single-Machine Flexible Manufacturing System with Cyclic Transportation and Unlimited Buffers. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 173(3) :1042–1054, 2017.
- [2] P. C. Gilmore and R. E. Gomory. Sequencing a One State-Variable Machine : A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem. *Operations Research*, 12(5) :655–679, 1964.
- [3] S. M. Johnson. Optimal two and three stage, 1954.
- [4] Christos H. Papadimitriou and Paris C. Kanellakis. Flowshop Scheduling with Limited Temporary Storage. *Journal of the ACM (JACM)*, 27(3) :533–549, 1980.