

# Optimisation du cycle de vie d'un système manufacturier reconfigurable

Mari Chaikovskaia, Audrey Cerqueus, Alexandre Dolgui

IMT Atlantique, LS2N, CNRS, UMR 6004, F-44000 Nantes, France

{mari.chaikovskaia, audrey.cerqueus, alexandre.dolgui}@imt-atlantique.fr

**Mots-clés :** *système manufacturier reconfigurable, durabilité, convertibilité, cycle de vie, optimisation multi-objectif.*

## 1 Introduction

Le concept de système manufacturier reconfigurable, souvent appelé *RMS* (abrégié de l'anglais "reconfigurable manufacturing system"), a été introduit par Dr. Koren en 1998 pour répondre aux changements rapides du marché [1]. Ces systèmes reposent sur des machines reconfigurables qui peuvent être facilement ajoutées, supprimées ou ajustées - en modifiant le hardware ou en reprogrammant le software - pour s'adapter aux variations de la demande [2]. Les RMS visent à proposer une alternatives aux systèmes dédiés (DMS), hautement productifs, mais non flexible, et aux systèmes flexibles (FMS) coûteux et avec une faible productivité. Ils offrent un niveau de flexibilité permettant de produire une famille de produits, avec une productivité plus élevée que celle des FMS.

Grâce à leur capacité à s'adapter rapidement et économiquement à des changements de la demande, les RMS sont également un moyen pour la durabilité [3]. La convertibilité de ces systèmes, i.e. leur capacité à intégrer de nouveaux produits, permettent notamment d'allonger le cycle de vie des systèmes. Des mesures de convertibilité ont été introduites dans la littérature [4]. Cependant, il n'existe pas de méthodes permettant d'optimiser la convertibilité du RMS dès la phase de conception.

Dans ce travail, nous présentons un modèle pour la phase de conception de RMS, optimisant à la fois sa convertibilité, pour prolonger son cycle de vie, et son coût pour rester compétitif. La convertibilité est évaluée sur trois décisions : le type des machines, le type des systèmes de transport et le nombre de connexions entre les stations. Un compromis entre la convertibilité et le coût est recherché puisque les machines et systèmes de transport flexibles (e.g. une machine à commande numérique par ordinateur ou une machine avec outil reconfigurable et un véhicule à guidage automatique ou un robot mobile autonome) sont plus coûteux à l'achat que des machines et systèmes de transports dédiés. La configuration physique (c'est-à-dire le nombre de machines sur chaque poste de travail) affecte la vitesse d'introduction des changements dans le système : une augmentation du nombre de connexions augmente la convertibilité. Nous formalisons ce problème comme un programme linéaire bi-objectif.

## 2 Modèle

Le modèle est conçu pour être utilisé dans la phase de conception d'un RMS quand la question du choix de type de machines et de type de transport se pose. Nous supposons que nous connaissons le nombre de stations ou postes de travail dans le système. Nous supposons aussi que, pour chaque type de machines, nous savons combien de machines nous pouvons acheter. Les connexions entre les stations sont contraintes de manière à ce que chacune des machines fassent partie d'un circuit de production, i.e. toutes les machines de la première et

de la dernière stations sont liées et toute machine est connectée en entrée et en sortie à une machine de la station directement en amont et en aval (quand elles existent). Le nombre de connexions maximales entre deux stations est atteint lorsque l'ensemble des machines de la première station sont connectées à chacune des machines de la seconde.

Pour chaque type de machines nous avons : son coût, sa durée de vie, l'énergie dépensée pendant la durée de sa vie, le temps de production total durant sa vie, et son score de convertibilité. Chaque type de transport a aussi son coût et son score de convertibilité.

Il y a trois variables de décision principales représentant le type de machines choisi, le type de transport choisi, et le nombre de connexions entre les machines.

Notre but est de trouver un compromis entre le coût et la convertibilité du système. Pour cela nous formulons un programme linéaire avec deux fonctions objectifs. La première fonction objectif maximise la convertibilité de système (convertibilité de configuration, machine et de transport). La deuxième fonction objectif minimise le coût du système (coût d'amortissement des machines, coût du fonctionnement des machines et coût de transport). La méthode du grand  $M$  dans les contraintes nous aide à linéariser le modèle.

### 3 Conclusions

Nous développons un cadre mathématique déterministe pour la contribution au développement durable d'un RMS par l'augmentation du cycle de vie de système. Pour augmenter le cycle de vie d'un RMS, nous considérons un indicateur appelé la convertibilité, c'est-à-dire la capacité du système à s'adapter aux changements du marché. Notre modèle est le premier qui permet faire le choix d'un type de machine ainsi que d'un type et de la quantité de transport en optimisant la convertibilité et le coût d'un système de production.

Lors de la conférence, nous présenterons des résultats numériques issus des expérimentations sur les instances adaptées de la littérature. Nous analyserons l'impact de la convertibilité sur le coût du système.

### Références

- [1] Yoram Koren, Xi Gu, Weihong Guo. Reconfigurable manufacturing systems : Principles, design, and future trends, Frontiers of Mechanical Engineering Society for Industrial and Applied Mathematics, Springer, Volume 13, 121–136, 2018.
- [2] Abdelkrim R. Yelles-Chaouche, Evgeny Gurevsky, Nadjib Brahimi and Alexandre Dolgui. Reconfigurable manufacturing systems from an optimisation perspective : a focused review of literature, International Journal of Production Research, Volume 59, no 21, 6400–6418, 2021.
- [3] Olga Battaïa, Lyes Benyoucef, Xavier Delorme, Alexandre Dolgui and Simon Thevenin. Sustainable and energy efficient reconfigurable manufacturing systems, Reconfigurable Manufacturing Systems : From Design to Implementation, Springer, 179–191, 2020.
- [4] Valerie Maier-Sperdelozzi, Yoram Koren, S. Jack Hu. Convertibility measures for manufacturing systems, CIRP annals, Elsevier, Volume 52, no 1, 367–370, 2003.