

# Équilibrage des lignes de désassemblage avec des robots collaboratifs dans un environnement aléatoire

Ilhem Slama<sup>1</sup>, Madani Bezoui<sup>2</sup>, Faicel Hnaien<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Technologie de Troyes, LIST3N, 12 rue Marie Curie, 10010 Troyes, France  
{ilhem.slama,faicel.hnaien}@utt.fr

<sup>2</sup> Cesi, LINEACT, France  
Mbezou@cesi.fr

**Mots-clés** : *Processus de désassemblage, équilibrage de lignes de désassemblage, robots collaboratif, durée aléatoire.*

## 1 Introduction

Le rôle de l'automatisation dans la fabrication moderne a connu une importance croissante au cours des dernières décennies. Cependant, les fabricants ne peuvent pas automatiser efficacement de nombreuses tâches à ce jour et utilisent par conséquent des travailleurs humains, qui sont soumis à une capacité physique limitée. Ces dernières années, les robots collaboratifs peuvent prendre en charge l'exécution de tâches manuelles à faible coût [1]. Cette nouvelle technologie peut donc représenter une opportunité rentable d'automatisation (partielle) des tâches de désassemblage. Dans ce papier, nous considérons un problème d'équilibrage de la ligne de désassemblage pour déterminer des configurations de système rentables, dans lesquelles des robots collaboratifs et des travailleurs humains peuvent être affectés aux stations de travail. Les temps des tâches de désassemblage manuels sont supposés être des variables aléatoires avec des distributions de probabilité connues. Pour résoudre le problème, nous développons un modèle mathématique stochastique et illustrons sa fonctionnalité à l'aide des données générées aléatoirement. À notre connaissance, nous sommes les premiers à traiter le problème d'équilibrage de lignes de désassemblage avec des robots collaboratifs sous incertitude.

## 2 Description et formulation du problème

Les contributions dans le domaine de l'équilibrage des chaînes de désassemblage peuvent être classées en fonction de l'objectif qu'elles poursuivent. Les objectifs communs sont la minimisation du nombre de stations, la minimisation du temps de cycle, la minimisation des coûts, ou la maximisation du profit. Les robots collaboratifs peuvent être adaptés pour soutenir l'un de ces objectifs. Le nombre de stations peut être réduit en raison de l'importance du travail en parallèle du robot et du travailleur. Les coûts peuvent être minimisés (et le profit maximisé) en remplaçant un travailleur par un robot, si le robot est moins cher que le travailleur et capable d'effectuer chacune des tâches requises. Cependant, l'installation de robots collaboratifs, est généralement envisagée dans le cadre de systèmes de désassemblage manuels existants. Une configuration initiale de la ligne de désassemblage est donc donnée, c'est-à-dire que les stations sont déjà installées. La minimisation du nombre de stations (et donc de travailleurs) ne semble donc pas être un objectif prioritaire. La contrainte du temps de cycle impose la réalisation des tâches affectées à un poste de travail dans la limite du temps de cycle alloué à ce dernier. Cette contrainte doit être vérifiée pour chaque station de travail et impose la satisfaction de la limitation du temps de cycle sous incertitudes. Comme les durées réelles des tâches ne peuvent être connues qu'au moment de leur réalisation, la durée totale des tâches initialement affectées

à un poste peut violer ou pas la contrainte du temps de cycle. Notre but est de satisfaire les contraintes du temps de cycle, afin de minimiser les violations possibles de ces contraintes.

Dans ce papier, nous proposons une approche stochastique pour minimiser le dépassement de temps de cycle d'un système manuel existant avec un nombre donné de stations. D'autres hypothèses concernent le nombre de robots collaboratifs qui peuvent être déployés, leurs capacités à effectuer certaines tâches et les temps de traitement qui en résultent sont pris en considération. Pour la détermination des temps de traitement, nous supposons que le robot complète le travailleur humain. Ainsi, nous comparons la vitesse de mouvement des travailleurs humains et du robot dans leur station partagée pour dériver des temps cohérents. Nous supposons que le robot a besoin d'un temps de traitement nettement supérieur à celui du travailleur humain. Cependant, le travailleur humain, est vacant et peut effectuer une autre tâche en parallèle. Tout en menant la même tâche en collaboration, une réduction du temps peut être obtenue grâce au soutien du robot sur sa tâche commune. Un autre paramètre important pour décrire la situation de désassemblage considérée est le ratio de flexibilité des tâches. Il décrit les caractéristiques des relations de précedence d'un produit, et donc la liberté dans l'affectation des tâches aux stations.

L'approche de modélisation (une formulation de programmation linéaire mixte stochastique en nombres entiers) repose en outre sur les hypothèses suivantes : (i) Un seul type de produit à désassembler. (ii) Les stations sont disposées en série. (iii) L'équipement et les outils nécessaires sont disponibles à chaque station. (iv) Les temps de traitement de l'opération de désassemblage sont aléatoires pour toute alternative de processus. (v) Les robots ont des capacités limitées. Par exemple, l'exécution robotique peut être infaisable pour certaines tâches. (vi) Chaque tâche et chaque robot peuvent être affectés à n'importe quelle station et (vii) chaque tâche doit être affectée à exactement une station et une alternative de processus. (viii) Les relations de précedence sont connues, capturées dans un graphe de précedence, et doivent être respectées. L'objectif est de décider des stations auxquelles les robots sont affectés et de la répartition de la charge de travail entre les travailleurs et les robots quant les durées de l'opération de désassemblage sont aléatoires.

### 3 Conclusions et perspectives

La tendance à l'automatisation croissante améliore l'efficacité des entreprises de fabrication modernes. Cependant, certaines tâches ne peuvent pas être automatisées efficacement, par exemple, en raison de la complexité des produits à désassembler. Le travail manuel est le plus souvent confronté à ces défis. Ces dernières années, la collaboration homme-robot a permis d'accroître l'efficacité du travail manuel. Par conséquent, nous considérons un nouveau problème de planification de la configuration des lignes de désassemblage manuelles avec des robots collaboratifs dans un contexte aléatoire. Dans notre approche, les robots peuvent être affectés à des stations pour soutenir l'exécution des tâches humaines, où les avantages humains et robotiques peuvent être utilisés. Nous présentons une formulation mathématique stochastique pour satisfaire les contraintes de temps de cycle des lignes de désassemblage pour un nombre donné de stations et de robots collaboratifs. En terme de perspectives et en raison de la grande complexité du problème, seules quelques configurations du système sont déterminées de manière optimale avec un solveur standard. Une méthode approchée sera développée afin de proposer une variété de configurations de système avantageuses en considérant les robots collaboratifs complétant les travailleurs dans les lignes de désassemblage manuelles avec un faible effort de calcul.

### Références

- [1] Weckenborg, C., and Spengler, T. S. Assembly Line Balancing with Collaborative Robots under consideration of Ergonomics : a cost-oriented approach. *science*, 52, (13) :1860-1865, 2019.