

# Algorithme pour l'équilibrage de lignes d'assemblage mono et multi-produits

Mohamed Amine Abdeljaouad<sup>1</sup>, Nathalie Klement<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CEA Tech Hauts-de-France, Lille, France

[mohamed-amine.abdeljaouad@cea.fr](mailto:mohamed-amine.abdeljaouad@cea.fr)

<sup>2</sup> Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, LISPEN, HESAM Université, Lille France

[nathalie.klement@ensam.fr](mailto:nathalie.klement@ensam.fr)

**Mots-clés :** *Equilibrage de ligne, optimisation, recherche tabou.*

## Introduction

Depuis leur apparition en 1913 au sein des usines de véhicules Ford aux Etats-Unis, les lignes d'assemblage se sont imposées comme la principale forme de production industrielle. Ce type d'atelier a permis de réduire considérablement les temps de fabrication, augmentant ainsi la productivité, tout en utilisant moins de main d'œuvre, ce qui permet aussi de réduire les coûts de production. Aujourd'hui, les lignes d'assemblage sont largement employées pour assembler rapidement plusieurs types de produits et leurs domaines d'utilisation sont nombreux. Dans ce papier, nous présentons un algorithme dédié à la résolution des problèmes d'équilibrage de lignes mono-produit et multi-produits.

## Travail réalisé

### 1 Présentation du problème

L'avènement de l'industrie 4.0 a créé un besoin de reconfigurabilité chez les entreprises. Ainsi, la variabilité de la demande client peut amener une ligne d'assemblage à passer d'une production mono-produit à une multi-produits et vice-versa. Ce travail s'inscrit dans ce cadre et propose de résoudre le Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP) et le Mixed-model Assembly Line Balancing Problem (MALBP) par un même algorithme. Dans ces deux problèmes, il s'agit d'affecter un ensemble d'opérations, dont certaines sont liées par des contraintes de précédence, à des postes de travail de manière à optimiser un certain critère de performance. L'objectif que nous considérons dans l'équilibrage mono-produit (SALBP) est la minimisation du temps de cycle, c'est-à-dire la plus grande durée d'utilisation d'un poste (il s'agit donc d'un problème SALBP de type 2). Et pour l'équilibrage multi-produits (MALBP), l'objectif est la minimisation de la somme pondérée des temps de cycle des différents types de produits (le temps maximal que passe chaque type de produit sur un poste de la ligne). Dans ces deux problèmes, nous considérons que chaque opération peut se faire sur n'importe quel poste, à condition de respecter les contraintes de précédence. En d'autres termes, une opération  $i$  ne peut pas être affectée à un poste d'indice  $k_1$  si une de ses prédécesseurs est affectée à un poste d'indice  $k_2 > k_1$ .

### 2 Présentation de l'algorithme

L'algorithme proposé est constitué d'une heuristique, permettant de conduire rapidement à une solution initiale satisfaisante et d'une métaheuristique permettant d'améliorer la qualité de cette

solution. L'heuristique commence par calculer une borne inférieure de la solution. Elle se positionne ensuite sur le premier poste de travail et parcourt la liste des opérations qu'elle a préalablement classées en se basant sur leur degré de précedence. Tant que la charge du poste (sa durée de travail) est inférieure à la valeur de la borne, elle continue à lui affecter des opérations. Sinon, elle passe au poste suivant. L'heuristique s'arrête quand toutes les opérations sont affectées. La métaheuristique employée ensuite est un algorithme de recherche tabou, qui sélectionne, à chaque itération, le poste goulot pour chaque type de produit et déplace l'une de ses opérations vers l'un des postes adjacents, en respectant les contraintes de précedence. La métaheuristique compare ensuite l'ensemble des solutions visitées et retient celle qui minimise la fonction objectif. L'algorithme s'arrête après un certain nombre d'itérations consécutives sans amélioration de la solution.

### 3 Résultats

Les solutions retournées par l'algorithme ont été comparées avec des solutions optimales obtenues par la résolution avec le logiciel Cplex d'un modèle mathématique inspiré des formulations présentées dans [1] et [2]. Les tests ont été réalisés sur des instances à {10, 20, 50} opérations, {3, 5, 6} postes de travail et {1, 3, 5} types de produits. Ce qui donne au total 27 tailles d'instances. Nous nous sommes arrêtés à ces instances pour permettre au modèle mathématique de retourner la solution en quelques secondes. Cinq instances ont été testées pour chaque taille, pour un total de 135 tests. Après des tests de calibrage, la taille de la liste tabou a été fixée à 2 pour les instances à 10 opérations et à 8 pour celles à 20 et 50. L'algorithme s'arrête après 1000 itérations sans améliorer la solution. Les résultats moyens, sur l'ensemble des nombres de postes testés, sont représentés dans le Tableau 1. On peut remarquer la haute performance de l'algorithme, que ce soit pour le problème mono ou multi-produits, avec respectivement un écart relatif moyen de 0.74% et de 1.25% entre les solutions de l'algorithme et celles optimales. Le taux de solutions optimales est quant à lui de 45.92%. Les solutions sont retournées quasi-instantanément par notre algorithme, tout comme par le modèle mathématique.

	1 produit	3 produits	5 produits
10 opérations	0.88%	0.1%	0.81%
20 opérations	0.86%	1.13%	1.47%
50 opérations	0.48%	1.91%	2.11%

TAB. 1 – Ecarts relatifs moyens avec les solutions optimales

### Conclusions et perspectives

La prochaine étape de ce travail, c'est l'amélioration de la borne inférieure pour les problèmes MALBP. En effet, la borne employée actuellement dans l'heuristique est celle du SALBP-2 et la solution initiale risque donc de ne pas être très adaptée pour les problèmes d'équilibrage multi-produits. Cette nouvelle borne permettra d'évaluer l'algorithme pour les instances de plus grandes tailles, celles que les modèles mathématiques ne peuvent pas résoudre en un temps raisonnable. Les autres perspectives de ce travail incluent aussi l'étude d'autres fonctions objectifs pour le MALBP.

### Références

- [1] Ilker Baybars. A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem, *Management science*, 32(8), 909-932, 1986.
- [2] Wenqiang Zhang and Mitsuo Gen. An efficient multiobjective genetic algorithm for mixed-model assembly line balancing problem considering demand ratio-based cycle time, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 367-378, 2011.