

# Prise en compte de la consommation énergétique dans l'équilibrage de lignes d'assemblage

Arnauld Tuyaba, Laurent Deroussi, Nathalie Grangeon, Sylvie Norre

Université Clermont Auvergne, CNRS, UMR 6158 LIMOS, France

{arnauld.tuyaba, laurent.deroussi, nathalie.grangeon, sylvie.norre}@uca.fr

**Mots-clés :** *SALBP, méthodes hybrides, contraintes énergétiques, pic de consommation.*

## 1 Introduction

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie, en 2014, le secteur industriel était responsable de 36 % de la consommation finale totale d'énergie mondiale, et depuis lors, sa consommation d'énergie a augmenté de 1,5 % par an [1]. Pour faire face à ce problème, l'une des solutions existantes consiste à réorganiser les activités consommatrices d'énergie afin d'obtenir un pic de puissance plus faible. Notre objectif est de mettre en œuvre cette solution sur un problème d'équilibrage de lignes d'assemblage. Une ligne d'assemblage est découpée en plusieurs postes de travail sur lesquels il faut répartir une liste de tâches à effectuer.

## 2 Présentation du problème

Le SALBP (*Simple Assembly Line Balancing Problem*) classique consiste à affecter un ensemble  $\mathcal{O}$  de tâches à un ensemble  $\mathcal{M}$  de postes de travail d'une ligne d'assemblage. Des contraintes de prédécesseur sont définies qui obligent chaque tâche  $j \in \mathcal{O}$  à attendre la fin de tous ses prédécesseurs avant que son traitement ne puisse commencer. Chaque tâche  $j$  présente un temps de traitement  $t_j$  qui est constant et indépendant des postes de travail. L'objectif est généralement d'optimiser le temps de cycle  $c$  ou le nombre de postes de travail  $m$ , l'autre étant donné, de manière à ce que les contraintes de précédence soient respectées et que chaque station de travail traite au maximum une tâche à la fois tout au long de l'horizon temporel. Dans le SALB3PM (*SALBP with Power Peak Minimization*), le nombre de postes de travail disponibles  $m$  et le temps de cycle maximum autorisé  $c$  sont donnés. De plus, chaque tâche  $j$  a une consommation d'énergie  $W_j$ , constante et indépendante des postes de travail. Le but est de trouver une affectation des tâches aux postes de travail de manière à minimiser le pic de consommation électrique global.

## 3 Méthodes proposées

Le modèle mathématique proposé par [2] est indexé sur le temps, c'est-à-dire que sa principale caractéristique est que l'horizon temporel est subdivisé en tranches de temps unitaires et que les variables décrivant l'ordonnancement des tâches ont un indice temporel. Cela permet une représentation détaillée du traitement des tâches et donc du profil de puissance cumulée tout au long de l'horizon temporel. Ce modèle permet de résoudre des instances de petite taille (jusqu'à 25 tâches environ). Il manipule essentiellement deux familles de variables booléennes : les variables d'équilibrage ( $X_{i,k}$  indique si la tâche  $i$  est affectée à la station  $k$ ) et les variables d'ordonnancement ( $S_{i,t}$  indique si la tâche  $i$  démarre son exécution à la période  $t$ ).

Afin de pouvoir traiter des instances de taille supérieure, nous proposons une approche qui s'appuie sur la décomposition du modèle précédent en deux sous-modèles :

1. PLNE-équilibre : qui détermine les valeurs des variables d'équilibre de manière à satisfaire les contraintes structurelles du problème (précédence et temps de cycle)
2. PLNE-ordonnement : qui prend en donnée d'entrée un équilibre, et qui détermine les variables d'ordonnement qui minimisent le pic de consommation.

Cette approche est utilisée pour concevoir deux méthodes hybrides dans lesquelles les sous-modèles sont coordonnés soit par une descente stochastique (notée DS), soit par une recherche locale itérée (notée RLI). A chaque itération, le voisinage utilisé consiste à partir d'un équilibre donné et à imposer qu'une tâche choisie au hasard change de station. Le PLNE-équilibre est alors relancé pour obtenir un nouvel équilibre puis le PLNE-ordonnement calcule le pic de consommation.

Afin d'évaluer les performances de l'approche proposée, nous avons implémenté le modèle[2] dans CPLEX 12.8 et les tests sont effectués sur une machine Intel Core i7-11850H 2.50 Ghz avec 15.7Gb RAM. Toutes les instances ont une limite de temps de 3600 secondes. Les résultats de quelques instances de la littérature sont résumés dans le tableau suivant :

Instance	Données			Modèle mathématique		DS		RLI	
	$ O $	$m$	$c$	Pic	Temps(s)	Pic	Temps(s)	Pic	Temps(s)
mertens-1	7	6	6	<b>106</b>	0,01	<b>106</b>	0,03	<b>106</b>	0,03
bowman-1	8	5	20	<b>164</b>	0,05	<b>164</b>	0,04	<b>164</b>	0,04
jaeschke-1	9	8	6	<b>278</b>	0,02	<b>278</b>	0,12	<b>278</b>	0,12
mansoor-1	11	4	48	<b>145</b>	0,69	<b>145</b>	0,25	<b>145</b>	0,25
mittchell-2	21	3	39	<b>85</b>	427,94	90	14,02	<b>85</b>	18,4
roszieg-1	25	10	14	<b>254</b>	104,36	<b>254</b>	4,7	<b>254</b>	4,7
roszieg-2	25	4	32	<b>117</b>	226,61	<b>117</b>	343,53	<b>117</b>	354,53
heskiaoff-1	28	8	138	$\leq 290$	3600	273	15,6	<b>260</b>	99
heskiaoff-2	28	3	342	$\leq 140$	3600	135	15,3	<b>130</b>	163,2
buxey-1	29	14	25	$\leq 292$	3600	<b>292</b>	9	<b>292</b>	9
sawyer-1	30	14	25	<b>395</b>	157	<b>395</b>	0,34	<b>395</b>	0,34
sawyer-2	30	7	47	$\leq 310$	3600	234	15,03	<b>214</b>	9,34
Gunther-1	35	14	40	<b>394</b>	2297	438	36	<b>394</b>	4,81
Gunther-2	35	9	54	$\leq 450$	3600	308	4.51	<b>295</b>	1,01

D'après ce tableau, les résultats du modèle mathématique sont comparables à ceux de la littérature et ce modèle a des difficultés pour résoudre les instances dont le nombre de tâches est supérieur à 25. Par contre les deux méthodes approchées retrouvent rapidement les solutions du solveur, de plus trouvent de solutions sur les instances non résolues par le solveur et la RLI obtient de meilleurs résultats que la DS.

## 4 Conclusions et perspectives

Nous avons proposé des méthodes hybrides pour intégrer les contraintes énergétiques dans le SALBP. Les résultats obtenus sur les instances de la littérature montrent la pertinence de ces méthodes. Nous souhaitons nous intéresser à la résolution d'instances de taille plus grande. Pour cela, une piste est de remplacer le PLNE-Ordonnement par une heuristique.

## Références

- [1] International Energy Agency : Tracking Clean Energy Progress 2017 : Industry. <https://www.iea.org/etp/tracking2017/industry/>, published : 2017-05-16
- [2] Paolo Gianessi, Xavier Delorme, Oussama Masmoudi, Simple Assembly Line Balancing Problem with Power Peak Minimization. In F. Ameri, K.E. Stecke, G. von Cieminski, and D. Kiritsis (eds.), *Advances in Production Management Systems*, volume 566, 239-247, 2019