

Sujet de thèse

Méthodes d'optimisation pour la conception et le pilotage des systèmes de production sous contrainte énergétique

UMR de rattachement	LIMOS, UMR CNRS 6158, Mines Saint-Etienne
Directeur de thèse	Xavier Delorme
Co-encadrant	Damien Lamy
Ecole doctorale	EDSIS 488
Financement de la thèse	Programme Chaire Industrielle ANR - CORENSTOCK
Mots clés	Conception de système de production, Ordonnancement, optimisation dynamique, efficacité énergétique
Date de début	Octobre 2021

Contexte industriel

La chaire industrielle Corenstock est née de la collaboration entre l'école des Mines de Saint-Etienne, l'IMT-Lille-Douai et l'entreprise ELM Leblanc (filiale du groupe Bosch). Cette chaire vise à s'intéresser à l'efficacité énergétique des ballons d'eau chaude durant leur cycle de vie. Dans une vision systémique de l'efficacité énergétique, les caractéristiques énergétiques sont alors à prendre en compte non seulement pour maîtriser le comportement des éléments de stockage d'eau chaude après mise en service, mais également pour maîtriser la consommation d'énergie durant le processus industriel de fabrication. C'est sur ce dernier point que porte le présent sujet de thèse, qui se déroulera à Mines Saint Etienne. Définir la phase de production des ballons d'eau chaude du futur passe par la définition des procédés et des paramètres de mise en œuvre des éléments, en fonction des contraintes de conception et des matériaux à disposition et dans une optique d'efficacité énergétique autant qu'économique [1]. En complément des choix de procédés, l'efficacité énergétique est très sensible à l'organisation et la gestion des flux de production. À l'heure de l'industrie du futur, les systèmes de production industriels se dotent actuellement de capacité de flexibilité et de régulation de la consommation d'énergie susceptibles de contribuer à l'efficacité recherchée [2]. De plus, le contexte de production de l'entreprise partenaire est marqué par des contraintes importantes de flexibilité et de réactivité de programme de fabrication, où l'efficacité énergétique devient un paramètre de régulation, afin d'adapter la production aux variations des conditions d'utilisation de l'énergie (par exemple des périodes d'effacement) par des stratégies de pilotage réactif [3]. L'enjeu industriel est la réadaptation du système à des changements très réactifs, en maintenant l'efficacité énergétique.

Descriptif de la thèse

Cette thèse propose de s'intéresser principalement à deux sujets : (i) La conception d'un système productif à consommation énergétique maîtrisée, et (ii) son pilotage flexible et réactif, sous contrainte d'efficacité énergétique.

La question de l'efficacité énergétique des systèmes de production présente des difficultés spécifiques en raison des contraintes cumulatives qu'elle implique. Dans la littérature scientifique, ce sujet a surtout été envisagé à un niveau opérationnel (ordonnancement), que ce soit en termes de réduction de la consommation énergétique [1] ou des pics de puissance [2], [4], souvent au détriment des niveaux stratégique ou tactique. Ce n'est que récemment que des travaux en conception ont commencé à aborder la question de la consommation énergétique à ces niveaux globaux [5]. Dans une première phase des travaux de thèse, des choix de procédés de fabrication à la fois performants et à faible consommation énergétique seront considérés. Le problème de conception de système de production intégrant ces procédés - dont la consommation énergétique est connue (ou estimée) - peut alors être vu comme une extension du problème

d'équilibrage de lignes d'assemblages avec sous-graphe alternatif (Alternative subgraph assembly line balancing problem) [6]. De plus, des travaux récents ont montré l'importance de la prise en compte conjointe de la conception et de la planification des systèmes de production reconfigurables soumis à des coûts énergétiques [7]. En fonction d'une demande client variable et concernant plusieurs familles produits certains procédés peuvent donc être à privilégier, impactant la succession d'opérations et donc la structure du système de production. Un des verrous concerne alors la conception et l'évolution du système de production, et intégrant l'évolution des demandes clients et contraintes énergétiques. La considération de certaines contraintes difficiles à représenter (incompatibilités entre procédés, temps de reconfigurations, variabilité des durées des opérations) peut alors nécessiter leur couplage avec des modèles de simulation [8], [9].

Au-delà des choix initiaux de conception du système, son mode de pilotage est également très impactant sur l'efficacité énergétique globale. La présence de contraintes réglementaires ou contractuelles, ou la simple évolution de la disponibilité d'une source d'énergie peut amener l'entreprise à revoir ses objectifs ou modes de production. Compte tenu des besoins de flexibilité, le pilotage d'un tel système requiert le développement de méthodes d'optimisation dynamique adaptées à un système à événements discrets. Les méthodes d'optimisation dynamique sont des méthodes auto-adaptatives qui s'appuient sur des processus de prévision et d'intelligence artificielle pour être capables de proposer des solutions proches de l'optimum dans un contexte de variations soudaines des données [10]. Un pilotage énergétiquement efficace du système de production nécessite donc d'intégrer des méthodes de prévision sur des facteurs tels que la disponibilité de sources d'énergie renouvelable, ou d'autres aléas à déterminer. Plusieurs difficultés supplémentaires sont à considérer : (i) identifier les données pertinentes à exploiter pour déterminer un nouvel ordonnancement dans un contexte dynamique faisant intervenir des notions de consommation d'énergie ; (ii) Déterminer à quel moment le nouvel ordonnancement doit prendre le pas sur le précédent (i.e. des changements trop fréquents peuvent induire des difficultés au sein de l'atelier) ; Proposer des méthodologies de modélisation et des algorithmes d'optimisation reposant sur des outils d'apprentissage afin de proposer des ordonnancements bénéficiant d'informations passées et qui puissent être mis à jour sans provoquer de modifications majeures.

Résultats attendus

Plusieurs livrables attendus :

- Des méthodes d'optimisation seront étudiées pour le problème pour :
 - La conception du système de production en fonction des procédés/consommations d'énergie
 - Le pilotage réactif du système de production soumis à contraintes.

Les approches proposées seront évaluées expérimentalement, et pourront être validées sur des cas d'études. Des couplages simulation/optimisation pourront être envisagés à cette fin.

Les travaux seront valorisés par la publication d'articles scientifiques en journaux et en conférences.

Profil du candidat

Ingénieur et/ou Master de recherche français ou européen avec une coloration Génie Industriel ou Recherche Opérationnelle.

La personne recrutée devra disposer des compétences suivantes :

- Modélisation de problèmes ;
- Recherche opérationnelle ;
- Méthodes d'optimisation exactes ou approchées.

Des connaissances complémentaires dans l'un des domaines suivants seraient appréciées :

- Analyse de données ;



- Data/pattern mining, apprentissage.
- Simulation des flux de production

Le candidat devra être motivé par l'aspect applicatif et le développement informatique.

Candidature

Le dossier de candidature devra comporter :

- Un CV ;
- Une lettre de motivation ;
- Relevés de notes des deux dernières années de formation ;
- Lettres de recommandation.

Le dossier est à envoyer par courrier électronique à : damien.lamy@emse.fr

Bibliographie

- [1] R. Zhang and R. Chiong, 'Solving the energy-efficient job shop scheduling problem: a multi-objective genetic algorithm with enhanced local search for minimizing the total weighted tardiness and total energy consumption', *J. Clean. Prod.*, vol. 112, no. 4, pp. 3361–3375, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.097.
- [2] S. Kemmoe, D. Lamy, and N. Tchernev, 'Job-shop like manufacturing system with variable power threshold and operations with power requirements', *Int. J. Prod. Res.*, vol. 55, no. 20, pp. 6011–6032, Oct. 2017, doi: 10.1080/00207543.2017.1321801.
- [3] M. E. A. El Abdellaoui, F. Grimaud, P. Gianessi, and X. Delorme, 'Integrated Decision Process to Design Manufacturing Systems towards Industry 4.0', *IFAC-Pap.*, vol. 52, no. 13, pp. 1373–1378, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.390.
- [4] O. Masmoudi, X. Delorme, and P. Gianessi, 'Job-shop scheduling problem with energy consideration', *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 216, pp. 12–22, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.ijpe.2019.03.021.
- [5] P. Gianessi, X. Delorme, and O. Masmoudi, 'Simple Assembly Line Balancing Problem with Power Peak Minimization', in *Advances in Production Management Systems. Production Management for the Factory of the Future*, vol. 566, F. Ameri, K. E. Stecke, G. von Cieminski, and D. Kiritsis, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 239–247.
- [6] L. Capacho, R. Pastor, A. Dolgui, and O. Guschinskaya, 'An evaluation of constructive heuristic methods for solving the alternative subgraphs assembly line balancing problem', *J. Heuristics*, vol. 15, no. 2, pp. 109–132, Apr. 2009, doi: 10.1007/s10732-007-9063-x.
- [7] A. Cerqueus, P. Gianessi, D. Lamy, and X. Delorme, 'Balancing and Configuration Planning of RMS to Minimize Energy Cost', in *Advances in Production Management Systems. Towards Smart and Digital Manufacturing*, Cham, 2020, vol. 592, doi: 10.1007/978-3-030-57997-5.
- [8] N. Azouz and H. Pierrel, 'Adaptive smart card-based pull control systems in context-aware manufacturing systems: Training a neural network through multi-objective simulation optimization', *Appl. Soft Comput.*, vol. 75, pp. 46–57, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2018.10.051.
- [9] S. Kemmoé-Tchomté, D. Lamy, and N. Tchernev, 'A metaheuristic based on simulation for stochastic Job-shop optimization', in *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM)*, Seville, 2015, pp. 108–116, Accessed: Sep. 03, 2017. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7380144/>.
- [10] S. L. Takeda Berger, R. M. Zanella, and E. M. Frazzon, 'Towards a data-driven predictive-reactive production scheduling approach based on inventory availability', *IFAC-Pap.*, vol. 52, no. 13, pp. 1343–1348, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.11.385.