



# Résolution Exacte de problèmes d'Optimisation liés à l'Efficacité Énergétique des Systèmes de Production

*Thèse demarrant à la rentrée 2023*

<b>Laboratoire</b>	: LIMOS (Laboratoire d'Informatique, de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes)
<b>Axe</b>	: ODPS (Outils Décisionnels pour la Production et les Services)
<b>Directeur de thèse</b>	: X.Delorme (Mines Saint-Étienne, LIMOS/ODPS)
<b>Co-encadrant</b>	: P.Gianessi (Mines Saint-Étienne, LIMOS/ODPS)
<b>Mots-clés</b>	: Optimisation Combinatoire, Résolution Exacte, Génération de Colonnes, Inégalités Valides, Efficacité Énergétique, Systèmes Manufacturiers Durables
<b>Lieu</b>	: Mines Saint-Étienne

## Contexte

L'actualité récente au niveau géopolitique international a davantage rendu critiques les questions liées à l'énergie. Les pays de l'Union Européenne se voient contraints à repenser leur utilisation des combustibles fossiles et à envisager la voie de la sobriété énergétique. Sur un plus long terme, la crise internationale rend nécessaire, pour les pays européens et pas seulement, l'alignement des enjeux de souveraineté énergétique et de transition énergétique. Ceci s'inscrit dans le cadre, en cours de définition depuis plusieurs années et à l'échelle mondiale, du besoin de passer progressivement des combustibles fossiles à des sources d'énergie renouvelables. L'adoption de sources d'énergie renouvelables requiert des changements importants sur un plan sociétal et organisationnel, notamment au niveau des modes de production et de consommation, qui de plus doivent s'adapter à la disponibilité de ces formes d'énergie et à leur variabilité. L'industrie est parmi les acteurs les plus concernés, étant responsable de plus de 50% de la consommation énergétique mondiale [1]. Ceci est également vrai en ce qui concerne l'énergie électrique, l'industrie étant à l'origine de 22% de la consommation mondiale d'électricité en 2020, ce qui est estimé pouvoir monter jusqu'à 46% en 2050 [2].

Déjà au cours des dernières années, l'efficacité énergétique des systèmes de production manufacturiers a fait l'objet de nombre d'études scientifiques [3], se concentrant sur les différents aspects auxquels les industriels doivent de plus en plus prêter attention pour atteindre ce but. Nous notons parmi d'autres : la consommation d'énergie impliquée dans un processus de production [4], le coût économique associé [5], l'effacement de la consommation électrique [6], la gestion de l'énergie dans des smart grids [7], ou encore la considération d'un pic de puissance [8]. De nouveaux problèmes d'optimisation combinatoire ont par conséquent été étudiés, où ces aspects prennent la forme de contraintes ou de critères à optimiser, et peuvent impacter les décisions à prendre dans un système manufacturier sur un plan stratégique (par exemple, la conception d'une ligne de production) jusqu'à opérationnel (par exemple, l'ordonnancement d'un ensemble d'opérations à exécuter sur l'ensemble de machines d'un atelier). En outre, la naissance de nouveaux paradigmes industriels, tels que les Systèmes Manufacturiers Reconfigurables (RMS, [9]), a davantage augmenté le nombre de leviers potentiels d'action pour optimiser l'efficacité énergétique [10]. L'introduction de ces aspects accroît la complexité des problèmes d'optimisation combinatoire associés par rapport aux problèmes traditionnels correspondants, et la résolution exacte à travers des techniques classiques (e.g. Programmation Linéaire en Nombres Entiers) s'avère peu efficace.

## Objectifs

C'est à l'efficacité énergétique des systèmes de production manufacturiers, et à la résolution exacte des problèmes associés, que nous nous intéressons ici. À notre connaissance, les travaux de recherche utilisant des techniques avancées de résolution exacte des problèmes évoqués sont relativement peu nombreux. Une de ces techniques est la génération de colonnes, qui a déjà fait la preuve de son efficacité dans d'autres domaines économiques (affectations d'équipages [11], tournées de véhicules [12], problèmes de découpe [13], entre autres) du fait d'une représentation plus structurée des solutions admissibles, et il semble prometteur de pouvoir s'en servir pour s'attaquer à ces problèmes.

Une étude des aspects polyédraux [14] des mêmes problèmes pourrait, de plus, permettre le développement d'autres outils, tels que des algorithmes de plans coupants [15], basés sur des inégalités valides, pouvant pousser encore plus loin l'efficacité des approches exactes développées. Il est également possible d'imaginer que les outils de résolution exacte développés pourraient tirer profit des techniques récentes de Machine Learning et d'Intelligence Artificielle [16]. L'intérêt méthodologique que nous portons pour ces problèmes pourrait par la suite ouvrir d'autres pistes d'investigation. L'étude des propriétés structurelles de ces problèmes permettrait la conception d'algorithmes meta- et math-heuristiques [17], pouvant à la fois faciliter l'exécution des algorithmes exacts, mais aussi aider à trouver des solutions pour des instances de taille plus importante. La prise en compte d'objectifs à la fois économiques et d'efficacité énergétique pourrait mener à la définition de problèmes d'optimisation multi-objectif [18]. De par sa nature méthodologique, ce travail pourrait en outre donner lieu à l'application sur plusieurs problèmes liés à l'efficacité énergétique dans les systèmes de production, de leur conception jusqu'à la gestion opérationnelle ou en temps réel.

## Profil

Le candidat doit avoir une bonne maîtrise :

- des méthodes d'optimisation combinatoire (programmation linéaire, méthodes par séparation et évaluation, programmation dynamique, heuristiques, planification et ordonnancement)
- des outils de développement informatique (C, C++, Java)

Ce profil correspond à celui des élèves ayant obtenu un Diplôme en Master Recherche en Recherche Opérationnelle ou en Génie Industriel, mais aussi un Diplôme d'une Grande École d'Ingénieur ou d'autres formations similaires à l'internationale. Une bonne maîtrise de l'anglais est requise.

Des connaissances dans le domaine de l'énergie seraient un plus.

## Candidatures

Les candidats intéressés transmettront par email à [delorme@emse.fr](mailto:delorme@emse.fr) et [paolo.gianessi@emse.fr](mailto:paolo.gianessi@emse.fr) un dossier (en un seul fichier pdf) comportant :

- un Curriculum Vitæ détaillé, avec d'éventuels référents ou lettres de recommandation
- un relevé complet des notes de Master (M1 et M2), École d'Ingénieur (les trois ans) ou équivalent étranger
- une lettre de motivation en anglais ou français (2 pages maximum)

## Dates

Reception des dossiers : jusqu'au 30 avril 2023  
Présélection : basée sur les dossiers  
Sélection : en visioconférence les 4-5 mai 2023

Pour les candidats présélectionnés, un deuxième entretien en présentiel et une visite des locaux pourra être organisé les 8-10 mai 2023.

## References

- [1] Energy Information Administration, *International Energy Outlook 2019 with projections to 2050*, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>, 2019.
- [2] International Energy Agency, *World Energy Outlook 2021*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>, 2021.
- [3] A.Lawrence, P.Thollander, M.Andrei, M.Karlsson, *Specific Energy Consumption/Use (SEC) in Energy Management for Improving Energy Efficiency in Industry : Meaning, Usage and Differences*. *Energies*, 12(2): 247, 2019.
- [4] Minimizing energy consumption and cycle time in two-sided robotic assembly line systems using restarted simulated annealing algorithm, *Z.Li, Q.Tang, L.Zhang*. *Journal of Cleaner Production*, 135: 508–522, 2016.
- [5] M.-J.Park, A.Ham, *Energy-aware flexible job shop scheduling under time-of-use pricing*. *International Journal of Production Economics*, doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108507, 2022.
- [6] Hamdi Abdi, *Profit-based unit commitment problem : A review of models, methods, challenges, and future directions*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, doi.org/10.1016/j.rser.2020.110504, 2021.
- [7] V.Andiappan, *Optimization of smart energy systems based on response time and energy storage losses*. *Energy*, doi.org/10.1016/j.energy.2022.124811, 2022.
- [8] X.Delorme, P.Gianessi, D.Lamy, *A new Decoder for Permutation-based Heuristics to Minimize Power Peak in the Assembly Line Balancing*. submitted to 222nd IFAC World Congress, Yokohama, Japan, 2023.
- [9] Y.Koren, W.Wang, X.Gu, *Value creation through design for scalability of reconfigurable manufacturing systems*. *International Journal of Production Research*, 55(5): 1227–1242, 2017.
- [10] X.Delorme, P.Gianessi, *Designing Reconfigurable Manufacturing Systems to Minimize Power Peak*. 10th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management and Control (MIM 2022), 1295–1300, 2022.
- [11] J.Janacek, M.Kohani, M.Koniorczyk, P.Marton, *Optimization of periodic crew schedules with application of column generation method*. *Transportation Research Part C*, 83: 165–178, 2017.
- [12] A.Pessoa, R.Sadykov, E.Uchoa, F.Vanderbeck, *A generic exact solver for vehicle routing and related problems*. *Mathematical Programming*, 183: 483–523, 2020.
- [13] G.F.Cintra, F.K.Miyazawa, Y.Wakabayashi, E.C.Xavier, *Algorithms for two-dimensional cutting stock and strip packing problems using dynamic programming and column generation*. *European Journal of Operational Research*, 191: 61–85, 2008.
- [14] A.Schrijver, *Combinatorial optimization : polyhedra and efficiency*. Springer, 2003.
- [15] J.E.Mitchell, *Branch-and-cut algorithms for combinatorial optimization problems*. In *Handbook of applied optimization*, Oxford university press, 2002.
- [16] Y.Bengio, A.Lodi, A.Prouvost, *Machine learning for combinatorial optimization : a methodological tour d'horizon*. *European Journal of Operational Research*, 290(1): 405–421, 2021.
- [17] F.Alvelos, M.Lopes, H.Lopes, *A Matheuristic Based on Column Generation for Parallel Machine Scheduling with Sequence Dependent Setup Times*. In *Computational Management Science*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, 2015.
- [18] Y.L.Chu, J.M.Yang, C.H.Wu, *An energy-aware scheduling algorithm under maximum power consumption constraints*. *Journal of Manufacturing Systems*, 57: 182–197, 2020.