

Ré-ordonnancement multi-objectif des systèmes de production flexibles avec contraintes de blocage mixtes

Résumé

Les systèmes de production et de service reposent sur la capacité à organiser efficacement les opérations par des décisions d'ordonnancement. Toutefois, des perturbations dynamiques peuvent rendre les planifications initiales difficilement applicables, voire irréalisables : modifications de commandes en e-commerce, arrivée imprévue de patients prioritaires en milieu hospitalier ou pannes machines, autant de situations nécessitant une adaptation rapide de l'ordonnancement. Dans ce contexte, le réordonnancement permet d'adapter un ordonnancement initial aux nouvelles conditions d'exécution. Au-delà de la faisabilité opérationnelle, il vise à préserver l'efficacité du système tout en limitant les modifications du plan initial afin d'en maintenir la stabilité, deux objectifs conflictuels. La modélisation de ces problèmes se complexifie dans les systèmes soumis à des contraintes de blocage : contrairement à l'hypothèse classique de capacités infinies de stockage intermédiaire, des contraintes technologiques ou de partage de ressources peuvent empêcher la libération immédiate des équipements après traitement. Plusieurs types de blocage coexistent souvent au sein d'un même système, donnant lieu à des environnements à blocage mixte où les conditions de libération varient selon les interactions entre machines et étages de production. Les travaux consacrés au réordonnancement sous contraintes de blocage mixtes reposent principalement sur l'agrégation a priori des objectifs, fondée sur des préférences du décideur définies avant l'optimisation. Cette approche, bien qu'efficace lorsque ces préférences sont clairement établies, présente des limites : plusieurs vecteurs de pondération peuvent conduire à une même solution, et les régions non convexes du front de Pareto restent inaccessibles. À l'inverse, les méthodes a posteriori, fondées sur la dominance de Pareto, fournissent directement un ensemble de solutions non dominées représentant ces compromis. Or, à notre connaissance, le réordonnancement sous contraintes de blocage mixtes n'a pas encore été abordé à l'aide d'une approche multi-objectif a posteriori. Pour combler cette lacune, cette thèse propose un cadre d'optimisation multi-objectif prédictif-réactif pour le réordonnancement de systèmes de production flexibles soumis à des contraintes de blocage mixtes. Une phase initiale d'ordonnancement est suivie d'une phase de réordonnancement réactive générant un ensemble de solutions non dominées représentant différents compromis entre efficacité et stabilité. Pour formaliser ces problèmes, des modèles mathématiques intégrant les contraintes de blocage mixte ont été développés pour les deux phases, considérant simultanément des objectifs d'efficacité et de stabilité ainsi que des priorités dynamiques. Face à la complexité combinatoire des problèmes étudiés, plusieurs métaheuristiques multi-objectifs fondées sur le tri par non-dominance et sur la décomposition ont été adaptées et comparées afin de générer efficacement des fronts de Pareto. Ces méthodes ont été calibrées et évaluées sur des instances de tailles, configurations de blocage et sévérités variées, à l'aide d'indicateurs évaluant leur convergence et leur diversité. Les résultats démontrent que les approches proposées résolvent efficacement des problèmes de réordonnancement de tailles et configurations de blocage mixte variées, tout en générant des

fronts de Pareto de haute qualité pour soutenir la prise de décision entre efficacité et stabilité. Méthodologiquement, cette thèse établit des cadres de référence pour l'adaptation et la comparaison de métaheuristiques multi-objectifs en contexte de réordonnancement, ainsi que des stratégies de construction de solutions respectant les contraintes de blocage mixtes. Elle propose également un cadre flexible et généralisable de modélisation de différentes configurations de blocage mixte dans les systèmes de production flexibles.

Mots clés : Réordonnancement, optimisation multi-objective, contraintes de blocage mixtes, métaheuristiques