

Offre de thèse

Application des techniques d'IA à la résolution du problème d'ordonnancement dynamique d'un atelier « job shop flexible » dans le contexte de l'industrie 5.0

Domaines scientifiques : Génie Industriel, Intelligence artificielle, Industrie 5.0

Mots-clefs : Ordonnancement dynamique, Job-shop flexible, Intelligence Artificielle (IA), Résilience.

Résumé

Dans le contexte actuel de révolutions industrielles 4.0 et 5.0, et notamment celui de l'usine connectée, il est aujourd'hui possible, grâce aux technologies numériques de communication machine à machine et homme-machine (IoT, M2M, IHM, ...), de connaître l'état d'un système manufacturier dans sa globalité, mais aussi les événements internes et externes, aux quels le système est sujet, en temps-réel. Cette transition numérique nécessite une évolution quant aux outils d'aide à la décision et d'évaluation de la performance des systèmes manufacturiers. Dans ce contexte, l'ordonnancement temps-réel représente une problématique d'actualité. L'ordonnancement dynamique (Dynamic Scheduling) est un domaine de recherche qui s'intéresse aux problèmes de la re-planification temps-réel des tâches et de la re-allocation dynamique des ressources en réponse à des aléas et événements disruptifs qui viennent mettre en cause l'efficacité, voire la faisabilité, de l'ordonnancement courant. En général, même dans le cas statique, la résolution de ces problèmes (souvent classés NP-difficiles) est complexe quand elle fait appel à des techniques de résolution exacte classiques (Analytical approach). L'utilisation de nouvelles approches de type « Simulation-based approach » ou « Artificial intelligence-based approach » pour la résolution de ces problèmes permet une prise de décision temps-réel ainsi qu'une capitalisation des connaissances sur le fonctionnement du système. Ces nouvelles approches doivent permettre une aide quant à la prise de décision et au pilotage des systèmes complexes et des interactions homme-machine dans ces systèmes, qui doivent montrer de plus en plus de résilience face aux aléas. Ces approches sont toutefois confrontées à une complexité dans la mise en place du processus d'apprentissage.

Le travail de recherche de cette thèse vise à étudier l'utilisation des techniques de l'intelligence artificielle pour la résolution du problème d'ordonnancement dynamique dans le cadre un atelier type « job-shop flexible » avec aléas.

1 Contexte

1.1 Présentation du laboratoire d'accueil

LINEACT CESI (EA 7527), Laboratoire d'Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires, anticipe et accompagne les mutations technologiques des secteurs et des services liés à l'industrie et au BTP. La proximité historique de CESI avec les entreprises est un élément déterminant pour nos activités de recherche, et a conduit à concentrer les efforts sur une recherche appliquée proche de l'entreprise et en partenariat avec elles. Une approche centrée sur l'humain et couplée à l'utilisation des technologies, ainsi que le maillage territorial et les liens avec la formation, ont permis de construire une recherche transversale ; elle met l'humain, ses

besoins et ses usages, au centre de ses problématiques et aborde l'angle technologique au travers de ces apports. Sa recherche est organisée selon deux thèmes scientifiques interdisciplinaires et deux domaines applicatifs.

- Le thème 1 *Apprendre et Innover* relève principalement des Sciences cognitives, Sciences sociales et Sciences de gestion, Sciences et techniques de la formation et celles de l'innovation. Les principaux objectifs scientifiques visés par ce thème sont la compréhension des effets de l'environnement, et plus particulièrement des situations instrumentées par des objets techniques (plateformes, ateliers de prototypage, systèmes immersifs...) sur les processus d'apprentissage, de créativité et d'innovation.
- Le thème 2 *Ingénierie et Outils Numériques* relève principalement des Sciences du Numérique et de l'Ingénierie. Les principaux objectifs scientifiques de ce thème portent sur la modélisation, la simulation, l'optimisation et l'analyse de données de systèmes industriels ou urbains. Les travaux de recherche portent également sur les outils d'aide à la décision associés et sur l'étude des jumeaux numériques couplés à des environnements virtuels ou augmentés.

Ces deux thèmes développent et croisent leurs recherches dans les deux domaines applicatifs de l'Industrie du Futur et de la Ville du Futur, soutenues par des plate-formes de recherche, principalement celle de Rouen dédiée à l'Usine du Futur et celles de Nanterre dédiée à l'Usine et au Bâtiment du Futur.

1.2 Positionnement du centre porteur du projet

Le travail de recherche proposé dans le cadre de cette thèse fait suite à un travail de collaboration entre les centres CESI de Lyon et CESI de Lille sur l'utilisation des approches type simulation à évènement discret pour l'évaluation des règles d'ordonnancement dynamique dans le cadre d'un atelier à cheminement multiple (job-shop) [1].

Le problème d'ordonnancement au sein d'un atelier manufacturier est un domaine de recherche actif depuis de nombreuses années qui fait appel à de multiples disciplines scientifiques telles que le génie des systèmes industriels, la recherche opérationnelle, et plus récemment l'intelligence artificielle. Le problème de l'ordonnancement de travaux au sein d'un atelier consiste à déterminer le séquençage des travaux dans le temps qui permet d'optimiser la performance de l'atelier (minimisation du temps de réalisation global des travaux, minimisation des temps de retard, etc.) tout en respectant des contraintes associées aux ressources de l'atelier et des contraintes temporelles. Il existe différents types d'organisation d'ateliers manufacturiers. Le modèle considéré dans le cadres des activités de recherche du campus de Lyon est celui des ateliers à cheminements multiples (Job Shop).

Dans le contexte actuel de l'industrie 5.01, il est possible, aujourd'hui, grâce aux technologies numériques de connaître l'état d'un système dans sa globalité et de collecter les données nécessaires à l'amélioration de la prise de décision en temps réel (utilisation des ressources, optimisation des objectifs de production, intégration des aléas, etc.).

Afin d'accompagner les industriels dans cette transition, et leur permettre de disposer de nouveaux outils d'aide à la décision pour améliorer la performance de leurs systèmes de production, il est nécessaire de développer des méthodes d'optimisation dédiées à ce contexte. Les problèmes d'ordonnancement intégrant ces nouvelles contraintes font partie des études qui sont abordées aujourd'hui par les chercheurs du LINEACT.

1.3 Positionnement dans les axes de recherche du laboratoire

Les travaux de recherche de cette thèse s'inscrivent dans le thème de recherche 2 du LINEACT «Ingénierie et Outils numériques» dont les orientations portent sur le développement de la recherche dans les champs de la modélisation et de l'optimisation des systèmes, des données associées et de l'aide à la décision afin de répondre aux enjeux de la ville et de l'industrie du futur.

Les travaux de recherche de cette thèse s'inscrivent dans les domaines applicatifs ciblés par le laboratoire LINEACT que sont la ville du futur et l'industrie du futur.

Les travaux de recherche du thème 2 se déclinent en trois axes :

- Axe 1 - Cyber Physical Production System

- Axe 2 - Processus collaboratif et outils numériques
- Axe 3 - Systèmes urbains durables

Les travaux de recherche de cette thèse s'intégreront dans l'axe 1 « Cyber Physical Production System » et particulièrement du verrou « Modélisation ordonnancement (organisation) et décision (pilotage) dans les systèmes industriels ».

2 Projet de thèse

2.1 Contexte scientifique

Les travaux de recherche réalisés ces dernières années sur le problème de l'ordonnancement des ateliers à cheminement multiple sont considérables. Ils concernent majoritairement le développement de méthodes de résolution exactes ou approchées selon la complexité du problème considéré (Approche par méthodes optimales : MILP, Branch and Bound, etc. / Approches par heuristiques et méta-heuristiques : algorithme génétique, optimisation par colonie de fourmis, etc.). Parmi les méthodes étudiées ces dernières années, on note de plus en plus de travaux portant sur l'application des techniques de l'intelligence artificielle, techniques largement utilisées dans le contexte actuel de l'industrie 4.0. En effet, il est aujourd'hui possible, grâce aux technologies numériques de connaître l'état d'un système dans sa globalité et de collecter les données nécessaires à l'amélioration de la prise de décision en temps réel (utilisation des ressources, optimisation des objectifs de production, intégration des aléas, etc.).

La problématique d'ordonnancement dynamique temps-réel ne peut pas être appréhendée à partir des approches classiques. En effet, celles-ci conduisent à des temps de résolution rédhibitoires qui sont incompatibles avec des prises de décision en temps-réel. Elles sont intrinsèquement inappropriées au paradigme de l'ordonnancement dynamique.

Face à ce verrou, les nouvelles approches, identifiées à ce jour dans l'état de l'art, sont focalisées sur les techniques d'apprentissage développées dans le domaine de l'intelligence artificielle. Les résultats publiés, ces dernières années, sont prometteurs et confirment la pertinence de cette approche [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

2.2 Problématique et objectifs de la thèse

La plupart des méthodes de résolution des problèmes d'ordonnancement sont issues des techniques de l'optimisation combinatoire. Comme déjà évoqué précédemment, ces problèmes sont souvent NP-difficiles. En effet, les méthodes de résolution permettent, en général, l'optimalité de la solution fournie, mais les problèmes de grande taille restent complexes et nécessitent la construction de méthodes de résolution approchée. Quatre types d'approches sont abordées dans la littérature pour la résolution des problèmes d'ordonnancement dynamique : les approches méthodes optimales, les approches par heuristiques et méta-heuristiques, les approches par simulation et les approches par intelligence artificielle.

Compte-tenu de la complexité et de la diversité des problématiques d'ordonnancement, le travail de recherche de cette thèse sera focalisé exclusivement sur les systèmes de type « job-shop flexible » intégrant différents types d'aléas.

L'objectif de cette thèse consiste à utiliser des techniques issues de l'intelligence artificielle pour la résolution du problème d'ordonnancement dynamique dans le cas d'un job-shop flexible. Ces techniques doivent permettre un accès temps-réel, une prise en compte des aléas et une amélioration de la performance des approches de résolution classiques.

En partant d'observations de systèmes manufacturiers réels ainsi que des données issues de la littérature scientifique sur le domaine de l'ordonnancement, il s'agira de proposer un modèle qui intègre les aléas et qui prend en compte les variables/données nécessaires à l'élaboration du modèle d'apprentissage.

Un outil d'aide à la décision sera ensuite développé en se basant sur l'étude des techniques d'apprentissage supervisé appliquées à la fonction d'ordonnancement dynamique d'un système/atelier type « Job-shop flexible ».

2.3 Programme de travail

Le travail à réaliser se fera en six étapes clés suivantes :

1. Étape 1 : État de l'art
2. Étape 2 : Modélisation et simulation du système considéré (spécification nécessaire à l'élaboration de modèles capables de simuler de manière réaliste le fonctionnement du système considéré avec prise en compte des aléas)
3. Étape 3 : Génération des données d'apprentissage (génération d'instances de problèmes d'ordonnancement et caractérisation des états du système associé, exploitation des « Benchmarks » issus de la littérature).
4. Étape 4 : Création du modèle de décision à partir d'un algorithme d'apprentissage (identification des techniques d'apprentissages les plus appropriées au problème de l'ordonnancement dynamique, création de modèles de décision).
5. Étape 5 : Tests et validation (mise en évidence et caractérisation des verrous de l'ordonnancement dynamique dans le cas particulier des job-shop dynamiques à partir des cas d'étude)
6. Étape 6 : Rédaction de mémoire de thèse et soutenance

2.4 Références

- [1] Garcia, D., Tlahig, H., Bettayeb, B., & Sahnoun, M.'H. (2021, May). Evaluation of Dispatching Rules Performance for a DJSSP : Towards their Application in Industry 4.0. In 2021 1st International Conference On Cyber Management And Engineering (CyMaEn) (pp. 1-6). IEEE.
- [2] Shahzad, A., & Mebarki, N. (2012). Data mining based job dispatching using hybrid simulation-optimization approach for shop scheduling problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(6), 1173-1181.
- [3] Shahzad, A., & Mebarki, N. (2016). Learning dispatching rules for scheduling : a synergistic view comprising decision trees, tabu search and simulation. *Computers*, 5(1), 3.
- [4] Shaw, M. J., Park, S., & Raman, N. (1992). Intelligent scheduling with machine learning capabilities : the induction of scheduling knowledge. *IIE transactions*, 24(2), 156-168.
- [5] Shen, L., Dauzère-Pérès, S., & Neufeld, J. S. (2018). Solving the flexible job shop scheduling problem with sequence-dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 265(2), 503-516.
- [6] Sotskov, Y. N., Gholami, O., & Werner, F. (2013). Solving a job-shop scheduling problem by an adaptive algorithm based on learning. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(9), 1352-1357.
- [7] Suresh, V., & Chaudhuri, D. (1993). Dynamic scheduling—a survey of research. *International journal of production economics*, 32(1), 53-63.
- [8] Terekhov, D., Tran, T. T., Down, D. G., & Beck, J. C. (2014). Integrating queueing theory and scheduling for dynamic scheduling problems. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 50, 535-572.

3 Organisation de la thèse

Lieu de travail :	CESI Campus Lyon
Date de démarrage :	04/10/2021
Durée :	36 mois
Type de financement :	Contrat doctoral
Date limite de candidature :	15/09/2021

4 Profil du candidat

Compétences scientifiques et techniques :	Génie des systèmes industriels Optimisation/recherche opérationnelle Science des données Intelligence artificielle Anglais écrit et parlé Capacité rédactionnelle
Compétences relationnelles :	Être autonome Esprit d'initiative et de curiosité Savoir travailler en équipe et avoir un bon relationnel, Être rigoureux.

5 Modalités de sélection

La sélection du candidat sera basée sur la qualité du dossier et de l'échange lors d'un entretien.

Merci d'adresser votre candidature à bbettayeb@cesi.fr et htlahig@cesi.fr avec pour objet de mail : « Candidature Thèse ordonnancement dynamique job-shop »

Votre dossier de candidature devra comporter :

- Un Curriculum-Vitae détaillé. En cas de rupture dans le cursus universitaire, merci de donner une explication ;
- Une lettre de motivation explicitant vos motivations à réaliser une thèse de doctorat ;
- Les résultats des MASTER 1 et MASTER 2 et les bulletins de notes correspondants (au minimum les résultats du premier semestre pour le MASTER 2) ;
- Lettres de recommandation (2 maximum).

Merci de transmettre l'ensemble des documents au sein d'un fichier zip intitulé « NOM prénom.zip ».