

Stage de recherche

Ordonnancement intégré des tâches de production et de maintenance sous contrainte de qualité et de dégradation de machines dans un atelier flexible de production.

Domaines scientifiques : Génie Industriel, Recherche Opérationnelle

Mots clés : Ordonnancement ; Atelier flexible ; Dégradation ; Maintenance ; Assurance Qualité.

Encadrants :

- Belgacem Bettayeb, Enseignant-Chercheur, CESI LINEACT
- Ghita Bencheikh, Enseignante-Chercheuse, CESI LINEACT

Organisation du stage

- **Financement :** Laboratoire LINEACT
- **Lieu de travail :** Campus CESI Lille, 8 Bd Louis XIV, 59800 Lille
- **Date de démarrage :** 1 février 2023
- **Durée :** 6 mois

Sujet de stage

Contexte scientifique

La nouvelle révolution industrielle 4.0/5.0 est caractérisée par des systèmes de production cyber-physiques, dont les composants sont connectés et dont la supervision et le pilotage sont digitalisés (Brik *et al.*, 2019). Ce paradigme vise à fournir aux industries manufacturières des solutions pour faire face aux nouveaux défis économiques, sociaux et environnementaux. En effet, ces systèmes génèrent des grands volumes de données qui, une fois traitées, sont analysées et puis transférées au service d'aide à la décision afin d'améliorer les performances du système de production en termes de productivité, de flexibilité et réactivité (Lee, Bagheri and Kao, 2015). Toutefois, cela nécessite l'optimisation de différents processus opérationnels interactifs et interdépendants tel que la production, la qualité, la maintenance, la logistique, etc. (Grabot, 1998).

Dans ce contexte, les fonctions de la production, de la qualité et de la maintenance peuvent particulièrement tirer profit de cette évolution et contribuer à l'atteinte des objectifs de performance de l'entreprise. Bien que la conception des outils indicateurs sur la capacité des machines pour effectuer les tâches de production futures soit un pas en avant (Nguyen, Medjaher and Tran, 2022), l'ordonnancement conjoint des fonctions de production, de qualité et de maintenance reste un problème difficile. En effet, les tâches de production et de maintenance sont mutuellement exclusives et fortement liés les uns aux autres et ont un impact direct sur la qualité des produits fabriqués. D'une part, l'utilisation de la machine pour la production entraîne une dégradation qui endommage les composants pour lesquels une maintenance est nécessaire pour ramener la machine au niveau de performance souhaité. D'autre part, pour effectuer la maintenance, la machine doit souvent être arrêtée. Pendant ce temps, la machine ne génère aucun revenu, alors que l'activité de maintenance coûte de l'argent et est nécessaire pour que la machine continue à produire des biens de bonne qualité. Malgré cette interdépendance, ces activités sont

généralement planifiées séparément dans les systèmes industriels réels (Pandey, Kulkarni and Vrat, 2010).

Problématique et objectif du stage

Les systèmes de production de type job-shop flexible sont largement utilisées pour répondre aux objectifs et enjeux de l'I4.0/I5.0 (Márquez and Ribeiro, 2022). Dans ce type de système de fabrication, les interactions dynamiques entre l'état des équipements, les opérations exécutées sur les outils et la qualité des produits peuvent être très complexes. L'ordonnancement des activités de production et de maintenance doit être effectué simultanément au même niveau de planification pour garantir un planning robuste et assurer un taux moyen satisfaisant en terme de la qualité des produits fabriqués (Fitouri *et al.*, 2016), (Bencheikh, 2022), (Hajej, Rezg and Gharbi, 2021).

Le but de ce stage est de développer une politique de prise de décision intégrée pour l'ordonnancement de la production et la maintenance en optimisant un ou plusieurs objectifs et qui prend en compte des modèles de dégradation de la productivité et de la qualité dépendamment des opérations exécutées de différents produits, pour les différents composants d'une machine. Les décisions de maintenance sont intégrées avec les décisions de production à travers un modèle de santé des composants qui prend en considération l'évolution des conditions d'utilisation dans la prévision de l'état futur. L'objectif est minimiser une fonction de coût total de production et de maintenance en garantissant un certain niveau minimum de qualité.

Programme de travail

Le programme de travail s'articule autour des tâches suivantes :

1. Etat de l'art sur les modèles de maintenance prévisionnelle et de planification intégrée de la maintenance et la production (5 semaines)
2. Caractérisation et modélisation d'un indicateur de santé intégrant les décisions de maintenance et de production (2 semaine)
3. Développement du modèle mathématique du problème d'ordonnancement conjoint production et maintenance (5 semaines)
4. Développement d'une méthode de résolution approchée (heuristique et/ou matheuristique et/ou méta-heuristique) (5 semaines)
5. Test/Simulation (3 semaines)
6. Rédaction d'un article scientifique et du mémoire et préparation de la soutenance (6 semaines)

Production scientifique/technique attendue

Pendant ce stage, les livrables suivant sont attendus :

1. Rapport critique de l'état de l'art (à la fin de tâche 1)
2. Modèle mathématique du problème d'ordonnancement (à la fin de tâches 2 et 3)
3. Développement du code et résultats des tests (à la fin de tâches 4 et 5)
4. Un article scientifique (à la fin de fin tâches 6)
5. Un mémoire et M2R (à la fin de fin tâches 6)

Présentation du laboratoire

CESI LINEACT (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.

La recherche au sein de LINEACT 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 plateformes 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.

Positionnement dans les axes de recherche du laboratoire

Ce sujet de stage s'intègre dans l'axe « Systèmes Cyber Physiques de Production » du thème 2 « Ingénierie et Outils Numériques ». Plus précisément, la problématique étudiée concerne les deux sous-axes « Gestion et Décision » et « Vérification et Maîtrise »

Recrutement

Modalités : sur dossier et entretien.

Merci d'adresser votre candidature à **Belgacem Bettayeb** (bbettayeb@cesi.fr) et **Ghita Bencheikh** (gbencheikh@cesi.fr)

Votre candidature devra comporter :

- **un Curriculum-Vitae détaillé du candidat**. En cas de rupture dans le cursus universitaire, merci de donner une explication ;
- **une lettre de motivation** explicitant ses motivations à poursuivre une thèse de doctorat ;
- **les relevés de notes** du MASTER 1 et 2 ;
- toute autre pièce que vous jugerez utile.

Merci de transmettre l'ensemble des documents dans un fichier zip intitulé « **NOM prénom.zip** », avec pour objet de mail :

« **[Candidature] Ordonnancement intégré production et maintenance** »

Profil recherché : Master 2 Recherche ou A5 école d'ingénieur.

Compétences scientifiques et techniques : Gestion de production ; Recherche opérationnelle ; Programmation (C++, Python ou Julia).

Compétences relationnelles :

- être autonome, avoir un esprit d'initiative et de curiosité,
- savoir travailler en équipe et avoir un bon relationnel,
- être rigoureux

Références

Bencheikh, G. (2022) 'An approach for joint scheduling of production and predictive maintenance activities', *Journal of Manufacturing Systems*, p. 15.

Brik, B. *et al.* (2019) 'Towards Predicting System Disruption in Industry 4.0: Machine Learning-Based Approach', *Procedia Computer Science*, 151, pp. 667–674. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.04.089>.

Fitouri, C. *et al.* (2016) 'A Decision-Making Approach for Job Shop Scheduling with Job Depending Degradation and Predictive Maintenance', *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), pp. 1490–1495. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.782>.

Grabot, B. (1998) 'Objective satisfaction assessment using neural nets for balancing multiple objectives', *International Journal of Production Research*, 36(9), pp. 2377–2395. Available at: <https://doi.org/10.1080/002075498192580>.

Hajej, Z., Rezg, N. and Gharbi, A. (2021) 'Joint production preventive maintenance and dynamic inspection for a degrading manufacturing system', *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112(1), pp. 221–239. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06325-3>.

Lee, J., Bagheri, B. and Kao, H.-A. (2015) 'A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems', *Manufacturing Letters*, 3, pp. 18–23. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.

Márquez, C.R.H. and Ribeiro, C.C. (2022) 'Shop scheduling in manufacturing environments: a review', *International Transactions in Operational Research*, 29(6), pp. 3237–3293. Available at: <https://doi.org/10.1111/itor.13108>.

Nguyen, K.T.P., Medjaher, K. and Tran, D.T. (2022) 'A review of artificial intelligence methods for engineering prognostics and health management with implementation guidelines', *Artificial Intelligence Review* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10260-y>.

Pandey, D., Kulkarni, M.S. and Vrat, P. (2010) 'Joint consideration of production scheduling, maintenance and quality policies: a review and conceptual framework', *International Journal of Advanced Operations Management*, 2(1–2), p. 24.