



Proposition de sujet de thèse en contrat CIFRE

Entreprise FAYOLLE

Université Lumière Lyon 2 – Laboratoire DISP



1. Titre

Méthodes proactives pour la qualité produit en vue d'accélérer la fabrication zéro défaut dans une perspective d'excellence industrielle

2. Mots clés

BigData, CPS, IoT, Réseaux de neurones, Apprentissage, Agilité, Optimisation, Aide à la décision, Recherche opérationnelle, Fabrication zéro défaut, Industrie 4.0.

BigData, CPS, IoT, Neural networks, Learning, Lean, Optimization, Decision aiding, Operations research, Zero default manufacturing, Industry 4.0.

3. Contexte et enjeux du projet de recherche

Challengée par la montée en cadence de son activité de sous-traitance et sa volonté de diversification et accroissement de ses clients, l'entreprise FAYOLLE vise à améliorer la productivité, la réactivité et la sécurité de ses processus de production, des hommes et des machines. L'entreprise FAYOLLE souhaite maintenir son excellence industrielle en s'appropriant les nouveaux concepts de l'Industrie 4.0 et en développant des solutions innovantes pour l'excellence des opérations de production, le « Zero Default Manufacturing » et la « sécurité des hommes, des machines et des produits ».

3.1. Présentation de l'entreprise

FAYOLLE SAS (<https://www.fayolle-chaudronnerie.com/>) s'est spécialisé depuis 50 ans dans les métiers de la chaudronnerie et la tôlerie avec une offre de sous-traitance assez large pour les activités de découpe laser 2 D et 3 D, de soudure laser 3D, de chaudronnerie, le pliage, le roulage, etc. Fayolle offre ses services pour plusieurs secteurs comme l'automobile, l'aéronautique, l'agroalimentaire ou le médical... Dans un souci d'excellence industrielle, l'entreprise est investie dans l'appropriation des concepts de l'industrie 4.0 afin d'améliorer la réactivité, l'efficacité et la sécurité de ses processus de production.

3.2. Origine du projet

FAYOLLE possède une activité croissante de sous-traitance qui génère une montée en charge souvent très importante par rapport aux capacités de production. Ceci engendre une forte instabilité sur le plan de charge, une complexité pour la gestion du plan de charge et des moyens matériels et humains de l'entreprise, ainsi qu'un facteur de pression pour le développement commercial par sa volonté de diversification de ses clients. Dans ce contexte, FAYOLLE souhaite développer des outils d'aide à la décision pour améliorer la connaissance et la maîtrise de son appareil de production. Ainsi, des enjeux se dégagent : maintenir la forte disponibilité des machines indispensable à son activité, augmenter la productivité des hommes et des machines, optimiser les flux, réduire les délais de fabrication et atteindre une qualité produit zéro défaut du premier coup afin d'apporter un service à ses clients tout en sécurisant les opérateurs et les matériaux. FAYOLLE vise à adresser ces enjeux par le biais de la donnée et de l'expérience enregistrée depuis de nombreuses années.

3.3. Les objectifs du projet de recherche

Les objectifs de cette thèse résident dans la création de leviers pour l'amélioration de l'exploitation de l'appareil productif de chez FAYOLLE au travers de :

- Une cartographie dynamique des flux et entités intervenant dans le processus de production.
- Définition d'une architecture IoT capable de monitorer en temps réel le fonctionnement de l'appareil productif.

- Développement d'outils d'optimisation de l'affectation des ressources de production et évaluation de performances opérationnelles.
- Développement d'un modèle prédictif de prise de décision et de recommandation pour atteindre une qualité zéro défaut (le bon produit du premier coup).
- Déploiement ciblé des outils développés au sein de FAYOLLE.

Face à ces objectifs, plusieurs verrous organisationnels, techniques et technologiques doivent être levés :

- Prendre en compte l'hétérogénéité des processus d'industrialisation et de production, ainsi que l'hétérogénéité des systèmes d'information.
- Prendre en compte l'hétérogénéité des équipements de production dans le système d'aide à la décision.

Pour lever ces verrous et atteindre les objectifs identifiés ci-dessus, nous proposons de développer les travaux de recherche sous un contrat CIFRE entre le laboratoire DISP à l'Université Lumière Lyon 2 et l'entreprise FAYOLLE.

3.4. Présentation du laboratoire

Le laboratoire DISP (Décision et Information pour les Systèmes de Production), de l'Université de Lyon, est reconnu pour ses compétences en :

- Modélisation et optimisation du cycle de vie des systèmes.
- Agilité des systèmes d'information.
- Pilotage des systèmes de production de biens et de services.

Ici, c'est l'axe "Agilité des systèmes d'information" qui est mis en avant. L'objectif scientifique des membres de l'axe est d'évaluer et piloter l'alignement des systèmes d'information, tant au niveau métier que technique, dans un contexte distribué et dynamique.

L'expertise de l'axe "Agilité des systèmes d'information" est de :

- Faciliter l'intégration de nouveaux modèles organisationnels et de nouvelles technologies dans les systèmes d'information, en caractérisant l'évolution des modèles organisationnels et les horizons de responsabilités des infrastructures logicielles [1].
- Faciliter l'intégration et l'interopérabilité fonctionnelle et organisationnelle en proposant des cadres d'alignement de systèmes d'entreprise en changement et en considérant leur cycle de vie, de leur conception à leur intégration et leurs usages [2].
- Extraire, agréger, préserver et partager les connaissances en mettant en œuvre l'identification, le partage et la préservation des connaissances à long terme et en gérant l'échelle, la complexité et l'hétérogénéité des données [3,4].

Pour les mots clés mis en avant dans cette offre de thèse, le laboratoire DISP a déjà supporté le développement de plusieurs travaux de recherche et proposé :

- Un ensemble de modèles de prise de décision pour améliorer la réactivité des systèmes de production [1→5].
- Un Framework architectural et un ensemble de modèles pour intégrer ou interopérer les nouveaux concepts et solutions avec les systèmes existants [6→11]

4. Approche de recherche

Conformément aux objectifs de recherche présentés ci-dessus, nous proposons un projet de recherche qui couvre les phases d'exploration, de prototypage et production d'un système d'aide à la décision afin d'atteindre une qualité produit zéro défaut du premier coup.

4.1. Intérêt et qualité scientifique

L'émergence des outils, méthodes et solutions pour l'analyse de données positionne la « data science » comme outil prometteur pour favoriser et accompagner l'amélioration de l'efficacité et l'efficience de l'appareil productif. En effet, l'application des concepts de big data, IoT et réseaux de neurones pour les PME apporte une ouverture prometteuse en termes de :

- Optimisation des moyens de production : coût, ajustement de capacité machines, etc. [12,13].
- Approche d'amélioration continue pour le système de production [14→16].
- Exploitation des IoT pour le suivi et pilotage de la production [17→19].
- Fabrication zéro défaut [20→24]
- Maintenance prédictive [25→28]

Bibliographie

- [1] ZDRAVKOVIĆ, Milan, ZDRAVKOVIĆ, Jelena, AUBRY, Alexis, et al. Domain framework for implementation of open IoT ecosystems. *International Journal of Production Research*, 2018, vol. 56, no 7, p. 2552-2569.
- [2] DAFFLON, Baudouin, MOALLA, Néjib, et OUZROUT, Yacine. Cyber-Physical Systems network to support decision making for self-adaptive production system. In : *2018 12th International Conference on Software, Knowledge, Information Management & Applications (SKIMA)*. IEEE, 2018. p. 1-8.
- [3] WEICHHART, Georg, PANETTO, Hervé, GUÉDRIA, Wided, et al. Pathways to CP (P) S modelling & architecting. In : *10th international conference on interoperability for enterprise systems and applications (I-ESA 2020)*. Springer, 2020.
- [4] BENTAHA, Mohand-Lounes, MOALLA, Néjib, et OUZROUT, Yacine. A Disassembly Line Design Approach for Management of End-of-Life Product Quality. In : *IFIP International Conference on Product Lifecycle Management*. Springer, Cham, 2020. p. 460-472.
- [5] DAFFLON, Baudouin, BENTAHA, Mohand Lounes, MOALLA, Néjib, et al. Predictive maintenance based on decentralized CPS and convolution's neural network. In : *13ème Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation-MOSIM 2020*. 2020.
- [6] CHHUN, Sophea, MOALLA, Néjib, et OUZROUT, Yacine. QoS ontology for service selection and reuse. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2016, vol. 27, no 1, p. 187-199.
- [7] TORKHANI, Rami, LAVAL, Jannik, MALEK, Hedi, et al. Intelligent Framework For Business Process Automation And Re-engineering. In : *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*. IEEE, 2018. p. 624-629.
- [8] BELFADEL, Abdelhadi, LAVAL, Jannik, CHERIFI, Chantal Bonner, et al. Toward Service Orchestration Through Software Capability Profile. In : *Enterprise Interoperability VIII*. Springer, Cham, 2019. p. 385-395.
- [9] TORKHANI, Rami, LAVAL, Jannik, MALEK, Hedi, et al. Collaborative Information System Toward a Robotic Process Automation Solution. In : *Enterprise Interoperability VIII*. Springer, Cham, 2019. p. 55-66.
- [10] BELFADEL, Abdelhadi, AMDOUNI, Emna, LAVAL, Jannik, et al. Towards software reuse through an enterprise architecture-based software capability profile. *Enterprise Information Systems*, 2020, p. 1-42.
- [11] BELFADEL, Abdelhadi, LAVAL, Jannik, CHERIFI, Chantal Bonner, et al. Semantic Software Capability Profile Based on Enterprise Architecture for Software Reuse. In : *International Conference on Software and Software Reuse*. Springer, Cham, 2020. p. 3-18.
- [12] KATCHASUWANMANEE, Kanet, BATEMAN, Richard, et CHENG, Kai. Development of the Energy-smart Production Management system (e-ProMan): A Big Data driven approach, analysis and optimisation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2016, vol. 230, no 5, p. 972-978.
- [13] FIOSINA, Jelena, FIOSINS, Maxims, et MÜLLER, Jörg P. Big data processing and mining for next generation intelligent transportation systems. *Jurnal Teknologi*, 2013, vol. 63, no 3, p. 21-38.
- [14] AUSCHITZKY, Eric, HAMMER, Markus, et RAJAGOPAL, Agesan. How big data can improve manufacturing. *McKinsey & Company*, 2014.
- [15] SHROUF, Fadi, ORDIERES, Joaquin, et MIRAGLIOTTA, Giovanni. Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. In: *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 2014. p. 697-701.
- [16] ZHANG, Yingfeng, REN, Shan, LIU, Yang, et al. A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 142, p. 626-641.
- [17] BABICEANU, Radu F. et SEKER, Remzi. Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 2016, vol. 81, p. 128-137.
- [18] SHARMA, Abhishek B., IVANČIĆ, Franjo, NICULESCU-MIZIL, Alexandru, et al. Modeling and analytics for cyber-physical systems in the age of big data. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 2014, vol. 41, no 4, p. 74-77.

- [19] ANDERL, Reiner. Industrie 4.0-advanced engineering of smart products and smart production. In: 19th International Seminar on High Technology, Technological Innovations in the Product Development, Piracicaba, Brazil. 2014.
- [20] K.-S. Wang, «Towards zero-defect manufacturing (ZDM)—a data mining approach,» *Advances in Manufacturing*, vol. 1, p. 62–74, 2013.
- [21] F. Tao, Q. Qi, A. Liu et A. Kusiak, «Data-driven smart manufacturing,» *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 48, p. 157–169, 2018.
- [22] G. May et D. Kiritsis, «Zero Defect Manufacturing Strategies and Platform for Smart Factories of Industry 4.0,» chez *International Conference on the Industry 4.0 model for Advanced Manufacturing*, 2019.
- [23] L. Ferreira, G. D. Putnik, N. Lopes, W. Garcia, M. M. Cruz-Cunha, H. Castro, M. L. R. Varela, J. M. Moura, V. Shah, C. Alves et others, «Disruptive data visualization towards zero-defects diagnostics,» *Procedia CIRP*, vol. 67, p. 374–379, 2018.
- [24] B. Dafflon, M. L. Bentaha, N. Moalla et A. Benbouriche, «Predictive maintenance based on decentralized CPS and convolution's neural network,» chez *13ème Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation - MOSIM 2020*, 2020.
- [25] A. Bousdekis, K. Lepenioti, D. Apostolou et G. Mentzas, «Decision Making in Predictive Maintenance: Literature Review and Research Agenda for Industry 4.0,» *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, pp. 607-612, 2019.
- [26] B. Einabadi, A. Baboli et M. Ebrahimi, «Dynamic Predictive Maintenance in industry 4.0 based on real time information: Case study in automotive industries,» *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, pp. 1069-1074, 2019.
- [27] M. J. Kaczmarek et A. Gola, «Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - an Overview,» *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, pp. 91-96, 2019.
- [28] Y. Liao, F. Deschamps, E. de Freitas Rocha Loures et L. F. P. Ramos, «Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal,» *International Journal of Production Research*, vol. 55, pp. 3609-3629, 2017.

4.2. Méthodologie proposée et résultats attendus

Pour répondre aux objectifs du projet, nous proposons trois axes de recherche dont le détail est présenté ci-dessous :

Axe 1 : Analyse et cartographie

- *Problématique industrielle* : comment modéliser les différents flux de production (physiques et informationnels) afin d'améliorer la connaissance du fonctionnement de l'entreprise ?
- *Objectifs de l'entreprise* : cartographier l'ensemble des flux de l'appareil productif de FAYOLLE [1→4].
- *Moyens mis à disposition par l'entreprise* : pour atteindre les objectifs de cet axe de recherche, l'entreprise FAYOLLE met à disposition les sources de données techniques et dynamiques liées à la production à partir de ses SI actuels (ERP, CAD) [5] ainsi qu'un accès à l'appareil productif.
- *Problématiques scientifiques* : Bien que le périmètre de la cartographie et du monitoring soient souvent mal définis, elles font généralement référence à un ensemble de stratégies différentes visant à réduire à la fois les pannes non prévues et les coûts de maintenance d'une entreprise. L'interaction entre l'IoT et l'Intelligence Artificielle [8,9] a ouvert la voie à de nouvelles approches basées sur les données pour obtenir plus de sécurité et de fiabilité des processus industriels [10]. En utilisant différents types de capteurs [6,7], il est maintenant possible de collecter et de traiter des informations multiformes sur les machines en fonctionnement et sur l'environnement : courant, tension et autres quantités électriques, température, pression et humidité, signaux vibratoires et sonores, diverses gammes de fréquences de radiations électromagnétiques, etc. [11]. La cartographie dynamique consiste à mesurer une ou plusieurs variables sur une machine en fonctionnement avec l'idée de tester si ces dernières, ou d'autres quantités dérivées se situent dans les limites « acceptables » par rapport à une condition physique, de conception ou de sécurité, ou comparées à leurs variations historiques [12]. Ce test est effectué à l'aide d'approches allant des contrôles de seuil à paramètre unique aux systèmes experts basés sur des règles, des méthodes basées sur des modèles (par exemple, éléments finis) aux techniques sophistiquées d'apprentissage automatique [13]. Cette première partie permettra de poser les bases d'une détection de toute anomalie ou aléa dans la production et le traitement des données.
- *Première approche méthodologique* : dans un premier inventaire des fonctionnalités à mettre en place, on propose :

- Analyse de couverture des systèmes existants.
- Modélisation des flux physiques et informationnels.
- Identification des zones blanches (données) et intérêt de mettre en place des capteurs.
- Mise en place d'un réseau de capteurs et consolidation des données.
- Analyse des flux de données et identifications des causes / événements industriels : retard, qualité produit, problème machine, etc.
- Un travail sous-jacent : Décomposer les signaux, filtrer le bruit et proposer un modèle de représentation.
- *Accompagnement de la démarche et évaluation des résultats* : outre les échantillons proposés, le futur doctorant sera supporté par :
 - le biais du bureau d'études de FAYOLLE : pour faciliter le ciblage des données utiles à cette analyse,
 - l'apport de l'équipe de recherche. En effet, le laboratoire DISP de l'Université Lyon 2 a déjà un exemple d'analyse réalisé et optimisé pour le domaine de l'IoT.
- *Adéquation du profil du candidat* : le candidat retenu possède des compétences et une première expérience en traitement de données notamment en big data.

Bibliographie Axe 1

- [1] M. A. Nash et S. R. Poling, Mapping the Total Value Stream: A Comprehensive Guide for Production and Transactional Processes, CRC Press, 2011.
- [2] L. Hartmann, T. Meudt, S. Seifermann et J. Metternich, «Value stream method 4.0: holistic method to analyse and design value streams in the digital age,» *Procedia CIRP*, vol. 78, pp. 249-254, 2018.
- [3] S. Zor, D. Schumm et F. Leymann, «A Proposal of BPMN Extensions for the Manufacturing Domain,» chez *Proceedings of the 44th CIRP International Conference on Manufacturing Systems*, 2011.
- [4] A. García-Domínguez, M. Marcos Bárcena et I. Medina, «A Comparison of BPMN 2.0 with other Notations for Manufacturing Processes,» chez *Advances in Manufacturing Systems (MESIC)*, 2012.
- [5] K. Ganesh, S. Mohapatra, S. P. Anbuudayasankar et P. Sivakumar, Enterprise Resource Planning: Fundamentals of Design and Implementation, Springer International Publishing, 2014.
- [6] R. Buyya et A. V. Dastjerdi, Éd., Internet of Things: Principles and Paradigms, Elsevier Inc., 2016.
- [7] Y. Zhang et F. Tao, Optimization of Manufacturing Systems Using the Internet of Things, Elsevier Inc., 2017.
- [8] H. Das, N. Dey et V. E. Balas, Éd., Real-Time Data Analytics for Large Scale Sensor Data, Elsevier Inc., 2019.
- [9] H. Geng, Éd., Internet of Things and Data Analytics Handbook, Wiley-Blackwell, 2016.
- [10] Al-Garadi, Mohammed Ali, et al. "A Survey of Machine and Deep Learning Methods for Internet of Things (IoT) Security." arXiv preprint arXiv:1807.11023 (2018).
- [11] Si, Jia, Yibin Li, and Sile Ma. "Intelligent fault diagnosis for industrial big data." *Journal of Signal Processing Systems* 90.8-9 (2018): 1221-1233.
- [12] Gustafsson, J., and F. Sandin. "District heating monitoring and control systems." *Advanced District Heating and Cooling (DHC) Systems*. Woodhead Publishing, 2016. 241-258.
- [13] Sin, M. L., W. L. Soong, and N. Ertugrul. "Induction machine on-line condition monitoring and fault diagnosis-A survey." *Australasian universities power engineering conference*. Vol. 28. 2003.

Axe 2 : Qualité des données industrielles et optimisation des ressources

- *Problématique industrielle* : comment exploiter les données statiques et dynamiques afin d'optimiser l'utilisation des ressources et limiter l'impact des aléas durant la fabrication ?
- *Objectifs de l'entreprise* : Optimisation des plans de production via un pilotage prédictif et réactif : affectation des ressources, équilibrage de charge, ordonnancement, etc.
- *Moyens mis à disposition par FAYOLLE* : Pour atteindre les objectifs de cet axe de recherche, l'entreprise a déjà identifié des postes de travail constituant des goulets d'étranglement actuels.
- *Problématiques scientifiques* : Les problématiques scientifiques principales qui ressortent de cet axe, visant à apporter satisfaction complète aux objectifs de l'entreprise pour une excellence industrielle, sont la modélisation et résolution des problèmes de réallocation des ressources de production,

rééquilibrage dynamique de charges et ordonnancement en temps réel. Les solutions actuelles n'apportent pas une réponse aux problématiques posées par l'entreprise et leurs limites peuvent être résumées essentiellement en ces points :

- Des algorithmes dont l'efficacité et le temps de réponse ne leur permettent pas d'être adaptés à un environnement industriel, tel que celui de FAYOLLE, et dont les réponses ne prennent pas en compte la pertinence de la solution générée vis-à-vis de la sensibilité et la fréquence de mesure dans les capteurs, la résilience du système CPS et la cohérence vis-à-vis des informations issues de la distribution de capteurs, etc. [1→6].
- Des solutions isolées qui ne s'intègrent pas dans un cadre d'optimisation globale ou d'un système d'aide à la décision (DSS) au niveau de toute l'entreprise (SIs de l'entreprise) et ne prenant pas en compte la modélisation de réseaux CPS dans un environnement industriel et la prise de décision centralisée et distribuée [7→11].
- *Première approche méthodologique* : dans le contexte de l'industrie 4.0, l'entreprise FAYOLLE souhaite exploiter les capacités des IoT/CPS, des approches hybrides IA/RO pour détecter, analyser et traiter les aléas (retards, etc.) durant la production. Nous proposons de :
 - Cibler les ressources critiques à équiper en capteurs.
 - Proposer un modèle de décision (centralisée, décentralisée ou hybride) pour détecter et analyser les aléas de fabrication. Une deuxième approche consisterait à rediriger le flux de données collectés à partir des capteurs vers l'architecture de traitement de données proposée dans l'axe précédent.
- *Accompagnement de la démarche et évaluation des résultats* : plusieurs intervenants participeraient à l'aboutissement de la recherche sur cet axe :
 - Les services industrialisation, gestion de la production apporteront la crédibilité des ressources à retenir pour le périmètre de cette étude.
 - Le référent FAYOLLE, Yannick GERPHAGNON, apportera son expertise dans la définition du périmètre d'application des CPS comparé à la valeur ajoutée perceptible par les équipes internes et par le client final. A l'instar des approches de certification ISO, l'intégration des CPS doit apporter un gage de crédibilité et de confiance.
 - Le laboratoire DISP à Lyon 2 a déjà exploré l'intégration des CPS dans un contexte industriel. Nous avons mis en place quelques démonstrateurs en utilisant des CPS sur un convoyeur à l'université Lyon 2 (caméras thermiques, des lasers, des capteurs de mouvements etc.) intégrant des modèles de décision décentralisés à base d'agents.
- *Adéquation du profil du candidat* : le candidat retenu a développé dans sa candidature son souhait d'explorer les concepts CPS dans un environnement industriel. Il a pu pointer quelques éléments sur la démarche à implémenter pour apporter des solutions à cet axe de recherche.

Bibliographie Axe 2

- [1] G. Ismayilov et H. R. Topcuoglu, «Neural network based multi-objective evolutionary algorithm for dynamic workflow scheduling in cloud computing,» *Future Generation Computer Systems*, vol. 102, pp. 307-322, 2020.
- [2] J. Mohan, K. Lanka et A. N. Rao, «A Review of Dynamic Job Shop Scheduling Techniques,» *Procedia Manufacturing*, vol. 30, pp. 34-39, 2019.
- [3] F. S. Oliveira, K. Vittori, R. M. O. Russel et X. L. Travassos, «Mixed assembly line rebalancing: A binary integer approach applied to real world problems in the automotive industry,» *International Journal of Automotive Technology*, vol. 13, p. 933-940, 2012.
- [4] B. Yang et J. Geunes, «Predictive-reactive scheduling on a single resource with uncertain future jobs,» *European Journal of Operational Research*, vol. 189, pp. 1267-1283, 2008.
- [5] Z. Ivan, S. Vaclav et A. Ajith, Éd., *Handbook of Optimization: From Classical to Modern Approach*, Springer, 2013.
- [6] Y. Lu et F. Ju, «Smart Manufacturing Systems based on Cyber-physical Manufacturing Services (CPMS),» *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, pp. 15883-15889, 2017.
- [7] S. Konstantinov, M. Ahmad, K. Ananthanarayan et R. Harrison, «The Cyber-physical E-machine Manufacturing System: Virtual Engineering for Complete Lifecycle Support,» *Procedia CIRP*, vol. 63, pp. 119-124, 2017.

- [8] W. Wang, Y. Zhang et R. Y. Zhong, «A proactive material handling method for CPS enabled shop-floor,» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 61, p. 101849, 2020.
- [9] F. Zhao, J. Wang, J. Wang et J. Jonrinaldi, «A Dynamic Rescheduling Model with Multi-Agent System and Its Solution Method,» *Strojnicki vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, vol. 58, pp. 81-92, 2012.
- [10] S. Huber, M.-J. Geiger et A.-T. de Almeida, Édts., *Multiple Criteria Decision Making and Aiding: Cases on Models and Methods with Computer Implementations*, Springer, 2019.
- [11] J. F. Lachenmaier, H. Lasi et H.-G. Kemper, «Simulation of Production Processes Involving Cyber-physical Systems,» *Procedia CIRP*, vol. 62, pp. 577-582, 2017.

Axe 3 : Qualité proactive en industrialisation et en fabrication

- *Problématique industrielle* : comment accompagner la maturité du processus de contrôle qualité produit lors des phases d'industrialisation et durant le processus de fabrication.
- *Objectifs de l'entreprise* : fabrication du bon produit du premier coup : développement d'un moyen de contrôle simple et rapide sur laser 2D afin de contrôler les pièces en fabrication ; contrôle en 3D des pièces pendant et après découpe et pliage ; contrôles des quantités lors des expéditions.
- *Moyens mis à disposition par FAYOLLE* : pour atteindre les objectifs de cet axe de recherche, FAYOLLE fournira un accès aux données et machines du système de production.
- *Problématiques scientifiques* : Deux problématiques scientifiques se dégagent pour proposer un système d'aide à la décision (SAD/DSS) [1→5] pour accompagner le processus de contrôle proactif de la qualité produit sur deux phases clés de son cycle de vie :
 - Problèmes scientifiques durant l'industrialisation : le manque de recul sur les données de non-conformité [6→9], le décalage entre solutions de détection / inspection et les conditions de mesures de qualité produit, performance des modèles de détection, limites des capteurs, réactivité des méthodes, etc.
 - Problèmes scientifiques durant la fabrication : modèle de détection (complexité et variation des formes) des NC connues et non-connues [10→13], modèle de qualification des capteurs, adaptation du délai de réaction du processus décisionnel aux temps opératoires.
- *Première approche méthodologique* : sur la base des fonctionnalités issues des axes 1 et 2, proposer des scénarii d'usage orientés utilisateur :
 - Proposer un réseau de capteurs pour le contrôle de la qualité des produits conformément aux spécificités des produits de TARDY.
 - Proposer un modèle d'apprentissage pour caractériser les cas de non-conformité connus et prédire de nouveaux cas.
 - Explorer les leviers décisionnels dans les approches CPS pour proposer des recommandations adaptées aux contraintes opérationnelles des produits. Ces approches doivent considérer les limites des capteurs retenus.
 - Implémenter le processus décisionnel pour les lignes de produits sélectionnés.
 - Ouvrir le nouveau système décisionnel aux utilisateurs pour tests et améliorations.
- *Accompagnement de la démarche et évaluation des résultats* : c'est à travers les acteurs impliqués dans l'accompagnement des travaux dans les deux axes précédents.
- *Adéquation du profil du candidat* : le candidat retenu possède les compétences techniques nécessaires pour développer les fonctionnalités attendues par cet axe.

Bibliographie Axe 3

- [1] K.-S. Wang, «Towards zero-defect manufacturing (ZDM)—a data mining approach,» *Advances in Manufacturing*, vol. 1, p. 62–74, 2013.
- [2] G. May et D. Kiritsis, «Zero Defect Manufacturing Strategies and Platform for Smart Factories of Industry 4.0,» chez *International Conference on the Industry 4.0 model for Advanced Manufacturing*, 2019.
- [3] L. Ferreira, G. D. Putnik, N. Lopes, W. Garcia, M. M. Cruz-Cunha, H. Castro, M. L. R. Varela, J. M. Moura, V. Shah, C. Alves et others, «Disruptive data visualization towards zero-defects diagnostics,» *Procedia CIRP*, vol. 67, p. 374–379, 2018.

- [4] R. J. Eleftheriadis et O. Myklebust, «A guideline of quality steps towards zero defect manufacturing in industry,» chez *Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag*, 2016.
- [5] F. Eger, D. Coupek, D. Caputo, M. Colledani, M. Penalva, J. A. Ortiz, H. Freiberger et G. Kollegger, «Zero defect manufacturing strategies for reduction of scrap and inspection effort in multi-stage production systems,» *Procedia Cirp*, vol. 67, p. 368–373, 2018.
- [6] Y. Lu et F. Ju, «Smart Manufacturing Systems based on Cyber-physical Manufacturing Services (CPMS),» *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, pp. 15883-15889, 2017.
- [7] J. F. Lachenmaier, H. Lasi et H.-G. Kemper, «Simulation of Production Processes Involving Cyber-physical Systems,» *Procedia CIRP*, vol. 62, pp. 577-582, 2017.
- [8] S. Konstantinov, M. Ahmad, K. Ananthanarayan et R. Harrison, «The Cyber-physical E-machine Manufacturing System: Virtual Engineering for Complete Lifecycle Support,» *Procedia CIRP*, vol. 63, pp. 119-124, 2017.
- [9] A. Geron, *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and Tensorflow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems*, O'Reilly Media, 2019.
- [10] T. Gittler, E. Relea, D. Corti, G. Corani, L. Weiss, D. Cannizzaro et K. Wegener, «Towards predictive quality management in assembly systems with low quality low quantity data – a methodological approach,» *Procedia CIRP*, vol. 79, pp. 125-130, 2019.
- [11] H. A. Khan, S. U. Butt, A. A. Baqai et H. A. Saeed, «A new approach to predict the flexibility and precision of manufacturing systems using geometric constraints and small displacement torsors,» *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 294-301, 2018.
- [12] F. Malapelle, D. Dall'Alba, D. D. Fontana, I. Dall'Alba, P. Fiorini et R. Muradore, «Cost Effective Quality Assessment in Industrial Parts Manufacturing via Optical Acquisition,» *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1207-1214, 2017.
- [13] J. Zhang, P. Wang et R. X. Gao, «Modeling of Layer-wise Additive Manufacturing for Part Quality Prediction,» *Procedia Manufacturing*, vol. 16, pp. 155-162, 2018.

Bien que cette thèse soit dans un cadre CIFRE, une attention particulière est accordée à la qualité de la production scientifique. Le candidat pourra aussi assurer des vacances en informatique à l'IUT Lumière Lyon 2 afin de constituer un dossier d'enseignant-chercheur équilibré.

4.3. Intérêt socio-économique

Ce travail de thèse explore différents domaines de recherche pour apporter une solution d'ouverture à FAYOLLE permettant d'appréhender les concepts de l'internet du futur. Au-delà des défis scientifiques et technologiques qui sont clairement exposés dans ce document, ce travail présente plusieurs intérêts, comme :

Intérêts économiques :

- Maîtriser le processus industriel avec un contrôle qualité en quasi-temps réel ;
- Prédire les potentiels défauts de fabrication avant leurs occurrences pour avoir le bon produit du premier coup (minimiser les rebuts pièces et les pièces à retoucher) ;
- Réduire les rebuts matières ;
- Optimiser l'exploitation des capacités de production par l'optimisation de l'affectation des ressources ;
- Equilibrage charge-capacité en temps réel par l'analyse et le traitement des aléas de production pour atteindre un taux satisfaction client optimal.

Intérêts sociaux :

- Favoriser le partage et la compréhension de la cartographie des processus de l'entreprise pour une meilleure prise en compte des contraintes des acteurs et des opérations ;
- Développer les compétences techniques des employés pour les aider à s'approprier les solutions de la transformation digitale et les systèmes cyber-physiques comme appui aux processus industriels ;

Intérêts culturels :

- Améliorer la qualité du service apporté par FAYOLLE à ses partenaires quand le suivi du respect des engagements est assuré essentiellement par des solutions technologiques ;
- Renforcer la culture du respect de l'engagement client et la qualité produit en assimilant les origines des événements qui engendrent des risques ou des non-conformités ;

5. Dossier de Candidature

Les travaux de recherche seront encadrés côté FAYOLLE par M. Yannick GERPHAGNON. Côté Laboratoire DISP, l'encadrement sera assuré par Mohand-Lounes BENTAHA, Baudouin DAFFLON et Néjib MOALLA.

Le candidat devra être titulaire d'un Master ou d'un diplôme d'Ingénieur en Informatique ou autre diplôme avec de solides connaissances en Informatique (Génie Industriel, Génie Electrique, etc.). Il devra être motivé par la recherche appliquée, par les approches d'intelligence artificielle et par les technologies IoT.

Des connaissances et compétences demandées pour cette thèse sont :

- Une bonne connaissance du fonctionnement des réseaux de neurones et des bibliothèques comme TensorFlow, scikit-learn, etc.
- De bonnes connaissances en Recherche Opérationnelle-Aide à la Décision.
- De bonnes connaissances dans la conception et analyse d'application.
- Un intérêt pour les capteurs et l'IoT.
- Python / Jupyter Labs.

Pour candidater à cette offre de thèse, merci d'envoyer avant **le 07 février 2021** :

- Un CV actualisé,
- Une lettre de motivation,
- Les bulletins de notes obtenus dans le master ou dans un diplôme équivalent,
- Le dernier rapport rédigé par le candidat (du stage de Master / ou d'un diplôme équivalent),
- Une lettre de recommandation de la part de votre encadreur de Master (ou diplôme équivalent).

Par mail à :

- Mohand-Lounes BENTAHA : Mohand.Bentaha@univ-lyon2.fr
- Baudouin DAFFLON: baudouin.dafflon@univ-lyon1.fr