

## **Sujet de doctorat en cotutelle UTC/Polytechnique Montréal: Définition d'un cadre d'interopérabilité pour le pilotage en temps réel des systèmes de production.**

À l'ère de 'l'industrie 4.0' qui prône le numérique et la connectivité (Beaudoin et al., 2016), la gestion et l'exploitation des connaissances fournissent un avantage significatif dans un contexte manufacturier toujours plus concurrentiel et favorisant la prise de décisions décentralisée en temps réel (Hermann et al., 2016). Cela permet le transfert de connaissances, la formation, la résolution de problèmes complexes ainsi que la prédiction de phénomènes tels que les aléas de fabrication et de production en termes de qualité, de maintenance, etc. (Choudhary et al., 2007);(Danjou et al.,2017b);(Ostermeyer et al., 2018).

Afin d'aborder cette nouvelle ère de l'industrie 4.0, au sens manufacturier du terme, (Hermann et al, 2016) définit six principes clés pour l'intégration des technologies numériques et ainsi tendre vers une autonomie des systèmes de production : (1) L'interopérabilité, (2) la virtualisation, la prise de décision (3) décentralisés et (4) en temps réel, (5) la servicisation des processus et enfin (6) l'agilité des systèmes de production. Dans le même sens, (Effra, 2013) précise une feuille de route pour définir les fondements de l'Usine du Futur couvrant différentes thématiques telles que : les processus de fabrication avancée, les technologies pour l'information, la modélisation et la simulation pour les méthodes et outils de fabrication, la gestion des savoir-faire métier, etc. Ainsi, l'Usine du Futur est définie comme l'accroissement de la vitesse de traitement de l'information et s'appuie sur le développement massif des réseaux de communication. Cette nouvelle mutation technologique se caractérise par une interconnexion totale des machines et des systèmes au sein des sites de production, entre les sites et avec l'extérieur (AFM, 2015). Il s'agit d'une nouvelle organisation des moyens de production, aussi bien au stade de l'approvisionnement que de la fabrication.

Pour atteindre l'organisation Usine du Futur à l'horizon 2030, de nombreuses solutions émergent pour favoriser les échanges d'informations, notamment pour la phase d'industrialisation qui constitue une étape pivot, pour aller de la conception à la fabrication (Danjou et al., 2017a). On peut, notamment, citer l'utilisation de nouveaux moyens pour le pilotage de la fabrication au travers de standards, de méta-modèles basés web (Zhang et al., 2015), de l'IoT (Internet of Things – Internet des Objets) (Atzori et al., 2010) ou encore du Cloud Manufacturing (Tao et al., 2011) qui proposent la mise à disposition d'informations pour le pilotage de la fabrication au travers des technologies de l'industrie 4.0.

L'avènement de l'industrie 4.0, semble également faire apparaître de nouveaux horizons avec des solutions pour l'interconnexion des machines (M2M) mais surtout pour l'extraction de données depuis les MOCN vers des systèmes de gestion centralisés tels les MES et ERP (Mohammed et al., 2018). Bien que de nombreux défis restent encore à surmonter pour atteindre l'interopérabilité des machines et des systèmes d'information, on retrouve les standards 'OPC-UA' (IEC 62541-1, 2016) et de l'applicatif 'AutomationML'. L'utilisation de ces standards peut servir à modéliser les informations de l'atelier et tenter d'optimiser la prise de décision sur l'ensemble du système de production (Henßen & Schleipen, 2014); (Dharmawardhana, Oancea & Ratnaweera, 2018);(Le Duigou, 2017). Ces nouvelles solutions d'interopérabilité permettent également d'envisager la reconfiguration des systèmes de production en s'appuyant sur une prise de décision centralisée au niveau du MES (Rohjans, Uslar, & Appelrath, 2010).

Ces travaux offrent de nombreuses perspectives pour l'interopérabilité et la réactivité en temps réel des systèmes de production et, parfois, une analyse, a posteriori, des informations des systèmes 4.0 qui permet ainsi d'envisager un pilotage en temps réel et autonome des MOCN (Danjou, Rivest, & Pellerin, 2017).

#### *MOTS-CLÉS:*

---

Usine du Futur; Interopérabilité; Smart Manufacturing; Système d'information; Production autonome.

#### *PROGRAMME DE RECHERCHE :*

---

La décomposition en tâches suivante est proposée :

- Étude bibliographique et analyse de l'existant:  
Une étude de l'existant concernant l'usine du futur et la structure de données associées, mais également les processus d'industrialisation et de production qui génèrent et utilisent ces données. Elle comprendra à la fois une étude bibliographique et une étude de l'existant chez nos partenaires industriels. Les domaines suivants devront être explorés dans ce sens : Usine du futur, systèmes d'information d'entreprise, Industrial Internet of Things...
- Identification des verrous scientifiques et technologiques :  
Les verrous scientifiques et technologiques doivent être identifiés grâce à l'analyse de l'état de l'art et de l'existant chez nos partenaires afin de pouvoir définir l'orientation de la thèse et les outils (au sens scientifique) qui seront utilisés pour combler ces manques.
- Développement des modèles, outils et méthodes:  
L'objectif est de définir un cadre d'interopérabilité permettant d'aligner les nombreuses sources de données multimodales en usine pour obtenir une ontologie couvrant les domaines de l'industrie 4.0. Ces données pourront ensuite être utilisées, notamment grâce à des techniques de fouille, pour fournir de l'aide à la décision pour les gestionnaires de production.
- Implémentation de ces modèles dans une plateforme logicielle:  
La démarche proposée devra s'intégrer dans une plateforme de type MES/ERP en permettant l'ajout de la base de données créée et les inférences sur ces données. Les suites logicielles open-sources seront privilégiées (OpenMES/OpenERP pour les MES/ERP, Protégé pour définir l'ontologie, Virtuoso comme base XML, R pour l'analyse des données...)
- Validation sur cas d'études :  
L'ensemble méthode/modèle/outil sera validé par des cas d'études académiques et un cas industriel provenant d'un fabricant de pièces mécaniques pour l'industrie aéronautique.

#### *DISSÉMINATION DES RÉSULTATS*

---

Au cours de la première année, les travaux issus de l'état de l'art feront l'objet d'une publication en conférence (Colloque S.MART, Congrès International de Génie Industriel...). Les travaux développés durant la deuxième année ont vocation à être publiés au sein de conférences internationales s'intéressant aux activités d'interopérabilité pour l'industrie comme CIRP Manufacturing Systems ou IFIP Advances in Production Management Systems. Enfin, pour la troisième année, les travaux feront l'objet d'une publication dans le cadre d'une revue

internationale tel que Computers in Industry, Journal of Manufacturing Systems ou encore International Journal of Production Research.

*LOCALISATION:*

---

Le candidat effectuera sa thèse en cotutelle entre l'Université de Technologie de Compiègne et Polytechnique Montréal. A l'issue de son doctorat, il sera diplômé des deux établissements français et canadien. Il devra effectuer un an minimum dans chacune des universités.

*CANDIDAT:*

---

Bac+5 en mécanique ou génie industriel  
Esprit de synthèse,  
Bon niveau d'anglais (C1),  
Connaissances en industrialisation/production  
Connaissances en système d'information d'entreprise (PDM; ERP; MES.....)  
Des connaissances en fouille de données seraient un plus

Candidature: envoyer CV + lettre de motivation à [julien.le-duigou@utc.fr](mailto:julien.le-duigou@utc.fr) et [christophe.danjou@polymtl.ca](mailto:christophe.danjou@polymtl.ca) avant le 15 février 2020.

*FINANCEMENT:*

---

21000 CAD (dollars canadiens) par an net d'impôt. Possibilité de complément (10000 CAD) via une charge d'enseignement.

*CONTACTS :*

---

**Julien Le Duigou**  
Associate Professor  
Roberval Mechanical Laboratory  
Département de Mechanical Engineering,  
Sorbonne Universités, Université de  
Technologie de Compiègne  
CS 60319 - 60203 Compiègne Cedex, France  
e-mail : [julien.le-duigou@utc.fr](mailto:julien.le-duigou@utc.fr)

**Christophe Danjou**  
Assistant Professor  
Department of Mathematical and Industrial  
Engineering  
Polytechnique Montréal  
P.O. Box 6079, Station Centre-Ville,  
Montréal (Québec) Canada, H3C 3A7  
e-mail: [christophe.danjou@polymtl.ca](mailto:christophe.danjou@polymtl.ca)

*RÉFÉRENCES :*

---

AFM. (2015). LIVRE BLANC DE LA RECHERCHE EN MÉCANIQUE - Enjeux industriels et sociétaux Recherche, innovation, formation.  
Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 54(15), 2787–2805  
Beaudoin, J., Lefebvre, G., Normand, M., Gouri, V., Skerlj, A., Pellerin, R., Rivest, L., & Danjou, C. (2016). Prendre part à la révolution manufacturière? Du rattrapage technologique à

- l'Industrie 4.0 chez les PME. Centre francophone d'informatisation des organisations (CEFRIO).
- Choudhary, A. K., Harding, J. A., & Tiwari, M. K. (2007). Data mining in manufacturing: A review based on the kind of knowledge. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20(5), 501–521. <https://doi.org/10.1007/s10845-008-0145-x>
- Danjou, C., Le Duigou, J., & Eynard, B. (2017a). Closed-loop manufacturing process based on STEP-NC. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 11(2), 233-245.
- Danjou, C., Le Duigou, J., & Eynard, B. (2017b). Manufacturing knowledge management based on STEP-NC standard: a closed-loop manufacturing approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(9), 995-1009.
- Danjou, C., Pellerin, R., & Rivest, L. (2017). Le passage au numérique: Industrie 4.0: des pistes pour aborder l'ère du numérique et de la connectivité. CEFRIO
- Dharmawardhana, M., Oancea, G., & Ratnaweera, A. (2018). A review of STEP-NC compliant CNC systems and possibilities of closed loop manufacturing. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 399, No. 1, p. 012014). IOP Publishing.
- EFFRA. (2013). *Factories of the future : Multi-annual roadmap for the contractual PPP under horizon 2020*.
- Feinerer, I. (2018). Introduction to the tm Package Text Mining in R. 2013-12-01].
- Henßen, R., & Schleipen, M. (2014). Interoperability between OPC UA and AutomationML. *Procedia CIRP*, 25(C), 297–304.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on* (pp. 3928-3937). IEEE.
- IEC62541-1. (2016). IEC 62541-1 - OPC Unified Architecture - Part 1: Overview and Concepts
- Le Duigou, J. (2017). *Apports des ontologies et de l'apprentissage automatique à la conception de systèmes mécaniques*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Technologie de Compiègne.
- Mohammed, W. M., Ramis Ferrer, B., Iarovyi, S., Negri, E., Fumagalli, L., Lobov, A., & Martinez Lastra, J. L. (2018). Generic platform for manufacturing execution system functions in knowledge-driven manufacturing systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 31(3), 262-274.
- Ostermeyer, E., Danjou, C., Durupt, A., & Le Duigou, J. (2018). An ontology-based framework for the management of machining information in a data mining perspective. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 302-307.
- Rohjans, S., Uslar, M., & Appelrath, H. J. (2010). OPC UA and CIM: Semantics for the smart grid. 2010 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Smart Solutions for a Changing World.
- Tao, F., Zhang, L., Venkatesh, V. C., Luo, Y., & Cheng, Y. (2011). Cloud manufacturing: a computing and service-oriented manufacturing model. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 225(10), 1969–1976.
- Zhang, X., Nassehi, a., & Newman, S. T. (2015). A meta-model of computer numerical controlled part programming languages. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 229(7), 1243–1257.