

Usage des technologies de l'industrie 4.0 pour les systèmes de production circulaires

Mots Clefs: économie circulaire, industrie 4.0, système de production, industrialisation

La mise en place de l'économie circulaire, nécessite l'apparition de nouveaux systèmes de production prenant place dans la boucle de retour des produits, pour leur désassemblage, remise à niveau ou amélioration. Du point de vue de la chaîne de valeur globale, des auteurs comme (Luthra & Mangla, 2018) et (Prieto-Sandoval et al., 2019) prédisent que les technologies de l'Industrie 4.0 (TI4.0) seront nécessaires à la transition de l'économie linéaire à l'économie circulaire. Les transformations sont attendues dans les produits, dans la gestion de la chaîne de la valeur et aussi dans les ateliers de production. Les systèmes de production prenant place dans la boucle de retour des produits se distinguent des ateliers usuels regroupant des activités de fabrication et d'assemblage dans diverses mesures :

- Les flux sont divergents (VS flux convergents en production classique) et parfois re-convergents (upgrading, réparation).
- La variabilité des entrants est plus forte en termes de produits à traiter (plus de variantes). Des reconfigurations du processus (spatiales ou séquentielles) sont plus nombreuses.
- Il existe une forte incertitude sur la qualité des entrants et sur les éléments intermédiaires ou finaux qui seront collectés.
- Il existe une incertitude plus forte sur le temps des opérations et les moyens nécessaires à leur réalisation (en particulier dans le désassemblage)
- Il existe une incertitude sur la qualité et la destination des sortants du système de production

Pourtant, ces systèmes de production devront être pilotés pour faire face dans les années futures à une activité accrue tout en maintenant de hautes performances industrielles en termes d'efficacité, d'efficacité et de soutenabilité des opérations. Les systèmes de remanufacturing sont en effet soumis aux mêmes exigences de qualité, rapidité, flexibilité et coût ; ceci portent les gestionnaires de ces systèmes à tenter de transposer les meilleures pratiques de l'industrie manufacturière classique à ces systèmes de production (Ferrer et al., 2011). La nécessité est donc forte d'éclaircir les opportunités d'utiliser les TI4.0 dans le contexte de l'économie circulaire.

Nous souhaitons explorer les apports concrets de certaines technologies que sont : le RTLS (Real Time Location System), les AIV (Autonomous Intelligent Vehicle), l'IIoT (Industrial Internet of Things) et les MES (Manufacturing Execution System) dans un contexte de conduite d'un atelier de désassemblage, réparation, mise à niveau ou réaffectation de produits. En effet, les hypothèses posées sur les singularités des systèmes de production circulaires montrent des besoins de traçabilité, d'adaptabilité et d'agilité fortes. Ces aspects sont ceux mis en avant par les promoteurs des TI 4.0. En l'état des connaissances actuelles, il semble nécessaire de caractériser les systèmes de production nécessaires à l'existence de l'économie circulaire et de vérifier si les TI4.0 seront des moyens nécessaires à leur réalisation. De nombreuses publications indiquent que ces technologies seront essentielles pour la mise en place de l'économie circulaire (Luthra & Mangla, 2018; Prieto-Sandoval et al., 2019). Mais peu de travaux font des démonstrations techniques des apports constatés (Kerin & Pham, 2019). La majorité des apports de l'I4.0 pour la mise en place de l'économie circulaire sont focalisés sur la gestion de la chaîne logistique externe (traçabilité, connectivité) ou sur les moyens de production (impression 3D), mais peu d'études analysent la partie de la gestion opérationnelle et tactique des ateliers. Les principales études publiées sont principalement des enquêtes sur le ressenti des industriels quant aux bénéfices attendus ou obtenus des TI4.0 (Bai et al., 2020; Kumar et al., 2020). Quelques études comme (Ferrer et al., 2011) (étude d'un système RFID pour un atelier de réparation) donnent des études de cas mais sont souvent limitées à une analyse par simulation. Enfin

les apports des TI4.0 dans un contexte de remanufacturing sont peu discutés en termes de performance globale de l'atelier. L'état de l'art présenté dans (Kerin & Pham, 2019) classe les contributions des TI4.0 pour le remanufacturing autour des produits, des équipements de production, des processus (au sens monitoring des produits) et des organisations (business models, infrastructure de partage d'information). Peu d'implications sur les conditions de conduites et les performances de l'atelier y sont évoquées.

Dans les travaux proposés, les questions de recherche abordées seront :

Les technologies de l'industrie 4.0 seront-elles des ressources adéquates pour la conduite des ateliers dans un contexte d'économie circulaire ?

Peut-on donner des preuves techniques ou expérimentales des apports de certaines technologies de l'industrie 4.0 pour la mise en place de systèmes de production dans un contexte d'économie circulaire ?

L'utilisation de ces technologies posent aussi de nouvelles questions éthiques dans l'atelier. Pour envisager une utilisation souhaitable des TI4.0, il faut aussi en analyser leurs interactions avec les personnels de l'atelier. Ce serait un contre sens d'imaginer la mise en place de l'économie circulaire sans technologies éthiques et soutenables (Kumar et al., 2020). La performance des TI4.0 dans un atelier est donc à envisager sous différentes perspectives incluant notamment les aspects éthiques et soutenables (voir par exemple (Berrah et al., 2021)).

Pour apporter des preuves de la nécessité ou non de l'utilisation de technologies de I4.0 dans le contexte décrit, nous souhaitons travailler selon différentes approches : les études de terrains, la simulation et l'utilisation d'expérimentations émulant les systèmes réels en laboratoire. Pour la partie étude de terrain nous pouvons nous appuyer sur les réseaux industriels constitués lors du CDP Circular et ceux de nos institutions (Université, Laboratoire). Pour la partie simulation, nous disposons notamment au laboratoire G-SCOP d'une grande expérience en simulation de système de production. Enfin, nos laboratoires sont équipés depuis septembre 2021 d'une plateforme physique d'émulation d'ateliers industriels (Plateforme Operations Management). Cette plateforme est reconfigurable pour refléter différentes dispositions d'atelier. Elle est équipée de différents systèmes représentatifs des TI4.0. tels que des AIVs, des cobots, un système de stockage automatisé, un RTLS, un MES pour citer les principaux. Il sera proposé de monter différentes expérimentations représentatives des situations de production nécessaires en économie circulaire.

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*, 229, 107776.

Berrah, L., Cliville, V., Trentesaux, D., & Chapel, C. (2021). Performance industrielle: une évolution intégrant l'éthique dans le contexte de l'Industrie 4.0. *Congrès CIGI QUALITA 2021*.

Ferrer, G., Heath, S. K., & Dew, N. (2011). *An RFID application in large job shop remanufacturing operations*.

Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117805.

Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124063.

Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 168–179.

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., Santos, J., Baumgartner, R. J., & Ormazabal, M. (2019). Key strategies, resources, and capabilities for implementing circular economy in industrial small and medium enterprises. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26(6), 1473–1484.

Profil et compétences attendues:

- Ingénieur ou Master en Génie Industriel
- Sensibilisé aux enjeux du développement durable et de l'économie circulaire
- Appétit pour l'étude de terrains industriels
- Maîtrise de l'anglais et du français.
- Connaissance de TI4.0 et des techniques de gestion de production

Type de projet: Financement public IDEX UGA (Programme CDTools CIRCULAR)

Laboratoire d'accueil :G-SCOP

Encadrement: Pierre David (directeur), Fabien Mangione (co-encadrant)

Contact: pierre.david@grenoble-inp.fr ; fabien.mangione@grenoble-inp.fr

Date de démarrage: à partir de septembre 2022