



Proposition de sujet de thèse en contrat CIFRE

UP Industry – TARDY SAS

Université Lumière Lyon 2 – Laboratoire DISP

1. Titre

Collaboration entre l’IoT et Réseaux de Neurones pour la prise de décision dans un environnement d’Industrie 4.0 : Application à la maintenance prédictive

2. Mots clés

BigData, CPS, IoT, TensorFlow, LSTM, Réseaux de neurones, Apprentissage, Maintenance prédictive, Fabrication zéro défaut, Prolongation de la durée de vie, Systèmes d’aide à la décision, Industrie 4.0.

BigData, CPS, IoT, TensorFlow, LSTM, Neural networks, Learning, Predictive maintenance, Zero default manufacturing, Lifetime extension, Decision support systems, Industry 4.0.

3. Contexte et enjeux du projet de recherche

En continuité des travaux de recherche menés en collaboration avec l’Université Lumière Lyon 2 dans le cadre du projet H2020 vf-OS (www.vf-os.eu), l’entreprise TARDY (Groupe UP Industry) souhaite accentuer la transformation digitale de son activité et visant à améliorer l’efficacité, la réactivité et la sécurité de ses processus de production. Fortement challengée par ses clients et ses partenaires, TARDY souhaite maintenir son excellence industrielle en s’appropriant de nouveaux concepts et en développant des solutions innovantes pour le « Zero Default Manufacturing », la « Maintenance Prédictive » et la « sécurité des humains, des machines et des produits ».

3.1. Présentation de l’entreprise

Les établissements TARDY (www.tardy.fr) proposent une offre complète de solutions et produits pour l’ingénierie et la réalisation de projets dans l’industrie métallurgique. TARDY est un sous-traitant de rang 1 pour plusieurs entreprises et grands groupes dans l’aéronautique, l’armement, le transport terrestre, etc. 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

TARDY développe une activité de sous-traitance qui demande une infrastructure matérielle (i.e. machines, etc.) très dépendante du produit. Cette particularité ramène une forte instabilité sur le plan de charge des ressources humaines et matérielles et un facteur de pression pour le développement commercial. Dans ce contexte, TARDY souhaite développer des outils d’aide à la décision ou de décision autonome pour améliorer la connaissance et la maîtrise de son appareil de production. Ainsi, deux enjeux se dégagent : maintenir la forte disponibilité des machines indispensable à son activité et minimiser les temps de maintenance tout en sécurisant les opérateurs et les matériaux. TARDY 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 TARDY production 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’un modèle prédictif de prise de décision et de recommandation pour une meilleure maintenance des équipements de production.

- Déploiement ciblé du modèle développé au sein de l'unité de production de TARDY.

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.
- Prendre en compte l'hétérogénéités des systèmes d'information dans l'analyse des besoins de maintenance.
- 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 TARDY.

3.4. Présentation du laboratoire

Le sujet de thèse s'inscrit dans la continuité du projet Européen H2020 vf-OS dans lequel TARDY et l'Université Lumière Lyon 2 étaient partenaires entre 2016 et 2019. 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 pour la prise de décision pour l'analyse des opportunités de collaboration interentreprises [5,6,7,8,9].
- Un modèle de prise de décision dynamique basé sur la performance des processus métiers collaboratifs [10,11,12].

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 de maintenance prédictive.

4.1. Intérêt et qualité scientifique

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

- Analyse prédictive des besoins de maintenance [13,14,15].
- Optimisation des moyens de production : coût, ajustement de capacité machines, etc. [16,17].
- Approche d'amélioration continue pour le système de production [18,19,20].
- Exploitation des IoT pour le suivi et pilotage de la production [21,22,23].

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 améliorer la connaissance du fonctionnement de l'entreprise ?
- Objectifs de l'entreprise : cartographier l'ensemble des flux de l'appareil productif de TARDY.
- Moyens mis à disposition par TARDY : pour atteindre les objectifs de cet axe de recherche, TARDY met à disposition les sources de données techniques et dynamiques liées à la production à partir de son système ERP ainsi qu'un accès à l'appareil de production.
- Problématiques scientifiques : aborder les concepts de l'IoT et BigData nécessite un travail de recherche approfondie pour analyser l'hétérogénéité des données et des machines, cibler les capteurs et API nécessaires à la cartographie, éviter l'accumulation du bruit dans le modèle de traitement de données, identifier les corrélations suspectes, etc.
- 1ère approche méthodologique : dans un premier inventaire des fonctionnalités à mettre en place, on propose de :
 - Connecter une ou plusieurs machines dans une approche d'analyse et de récupération des données pour identifier des facteurs de corrélation entre les propriétés des ressources, de la matière, etc.
 - Décomposer les signaux et filtrer le bruit.
 - 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 TARDY : pour faciliter le ciblage des données utiles à cette analyses
 - Par 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 présente des compétences et une première expérience en traitement de données, notamment en big data. Il a pu accéder aux travaux de l'université Lyon 2 sur l'application des capacités BigData dans l'estimation d'un premier niveau de collaboration industrielle.

Axe 2 : Maintenance prédictive

- Problématique industrielle : comment mettre en place des moyens de contrôle du fonctionnement des machines plus réactifs afin de limiter les arrêts de production et réduire les rebuts de matière pendant la fabrication ?
- Objectifs de l'entreprise : analyser le fonctionnement des machines de production pour anticiper d'éventuels mauvais fonctionnements.

- Moyens mis à disposition par TARDY : Pour atteindre les objectifs de cet axe de recherche, TARDY souhaite cibler les composants les plus chers et les plus instables avec un rebut assez conséquent.
- Problématiques scientifiques : l'implémentation des concepts d'IoT, CPS, réseaux de neurones, etc. pour le contrôle du bon fonctionnement de l'appareil de production fait appel à des problématiques de recherche liées à la modélisation de réseaux CPS dans un environnement industriel, la modélisation de la décision, la prise de décision centralisée et distribuée, la pertinence de la décision vis-à-vis de la sensibilité et la fréquence de mesure dans les capteurs, la résilience du système CPS et la cohérence de la décision vis-à-vis des informations issues de la distribution de capteurs, etc.
- 1ère approche méthodologique : dans le contexte de l'industrie 4.0, TARDY souhaite exploiter les capacités des IoT/CPS pour détecter, analyser et prédire la trajectoire d'un ensemble d'opérations de fabrication. Dans une première vision, nous proposons de :
 - Cibler les ressources critiques à équiper en capteurs. Ainsi, il faudra choisir des capteurs (caméras thermiques, lasers, appareil photos) avec une sensibilité adaptée à la typologie et la forme des composants à fabriquer.
 - Proposer un protocole d'analyse adapté à la vitesse de transformation du composant.
 - Proposer un modèle de décision décentralisé (ouverture vers les approches agent) pour prédire la déviation dans le processus de transformation. 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.
 - Avec le service industrialisation, proposer des protocoles d'arrêt machine, de redirection de la fabrication, etc.
- 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 et contrôle qualité apporteront la crédibilité des ressources à retenir pour le périmètre de cette étude. Ils valideront aussi la pertinence des capteurs vis-à-vis du niveau de tolérance attendu sur les composants.
 - Le référent TARDY, Alexandre BENBOURICHE, 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 pour le contrôle de la qualité produit dans l'industrie. 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.

Axe 3 : Zero default manufacturing et Sécurité

- Problématique industrielle : comment utiliser la connaissance de l'appareil de production établie dans les axes 1 et 2 pour maximiser la sécurité des employés, machine et matériaux.
- Objectifs de l'entreprise : analyser la trajectoire du processus de fabrication et prédire les déviations avec rebut pour les produits avec une matière première excessivement coûteuse (le coût dépasse les 300 K€ pour certains produits).
- Moyens mis à disposition par TARDY : Pour atteindre les objectifs de cet axe de recherche, TARDY fournira un accès aux données des systèmes de production et Co-définition des interfaces.
- Problématiques scientifiques : dans une première approche, TARDY souhaite s'ouvrir vers les solutions de l'internet du futur afin de valider les applications visées par ce projet. Nous avons identifié à partir du programme Européen FiWare un ensemble de solutions testées et documentées. Nous avons

identifié des problèmes d'hétérogénéité entre solutions, d'intégration avec les solutions propriétaires, etc.

- 1ère approche méthodologique : sur la base des fonctionnalités issues des axes 1 et 2, proposer des scénarii d'usage orientés utilisateur :
 - Proposer un modèle d'apprentissage qui, à partir des données issues des CPS ainsi que les différents historiques, permettra d'avoir des agents autonomes capables de prendre des décisions ou de proposer des recommandations.
 - Définir les scénarii et les processus métiers qui en résultent.
 - Améliorer la servicisation des fonctionnalités issues des deux axes précédents.
 - Implémenter les processus via les services référencés et développer les services manquants.
 - Ouvrir le nouveau système aux utilisateurs pour tests et amélioration.
- Accompagnement de la démarche et évaluation des résultats : via 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.

Bien que cette thèse soit proposée dans un contrat 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 équilibré pour la qualification aux fonctions de maître de conférences.

4.3. Intérêt socio-économique

Ce travail de thèse explore différents domaines de recherche pour apporter une solution d'ouverture à TARDY 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 :

- Superviser et agir sur le processus de transformation d'une matière première excessivement coûteuse ;
- Réduire des rebuts matières ;
- Maîtriser le processus industriel avec plus d'opérations de contrôle qualité en quasi-temps réel ;
- Optimiser l'exploitation des capacités de production ;
- Améliorer le processus de maintenance et prédire l'impact sur les équipements et l'approvisionnement des outils ;

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 TARDY 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 évènements qui engendrent des risques ou des non-conformités ;

5. Dossier de Candidature

Les travaux de recherche seront encadrés côté TARDY par M. Alexandre BENBOURICHE et M. Imad EL-IBRAHIMI. 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 librairies comme TensorFlow, scikit-learn, etc.
- 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 16 Octobre 2020** :

- 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 :

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

6. Bibliographie

[1] S. Chhun, N. Moalla et Y. Ouzrout, «QoS ontology for service selection and reuse» Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 27, n°11, pp. 187-199, 2016.

[2] M. Hachicha, N. Moalla, M. Fahad et Y. Ouzrout, «Performance assessment architecture for collaborative business processes in BPM-SOA based environments», International journal of Data & Knowledge Engineering, vol. 105, pp. 73-89, 2015.

[3] M. Fahad, N. Moalla et A. Bouras, «Detection and resolution of semantic inconsistency and redundancy in an automatic ontology merging system», Journal of Intelligent Information Systems, vol. 39, n°12, pp. 535-557, 2012.

[4] M. Fahad, N. Moalla, A. Bouras, M. Abdul Qadir et M. Farukh, «Towards Classification of Web Ontologies for the Emerging Semantic Web», Journal of Universal Computer Science, vol. 17, n°17, pp. 1021-1042, 2011.

[5] Naeem, M., Moalla, N., Ouzrout, Y., and Bouras, A. (2016). A Business Collaborative Decision Making System for Network of SMEs, 13th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM16) July 11-13, 2016 Columbia, SC, USA.

[6] Naeem, M., Moalla, N., Ouzrout, Y., and Bouras, A. (2016), Weaving Trending, Costing and Recommendations Using Big Data Analytic: An Enterprise Capability Evaluator, Enterprise Interoperability in the Digitized and Networked Factory of the Future, Vol. 8 Chapter 13, Proceedings of the IESA Conferences, Guimares, Portugal.

- [7] Naeem, M., Moalla, N., Ouzrout, Y., and Bouras, A. (2015). Opportunity Analysis for Enterprise Collaboration between Network of SMEs, 6th International IFIP Working Conference on Enterprise Interoperability (IWEI 2015), Nimes, France.
- [8] Naeem, M., Fahad, M., Moalla, N., Ouzrout, Y., and Bouras, A. (2015). Big Data Perspective with Ontological Modeling for the Traceability of Cultural Heritage. Product Lifecycle Management in the Era of Internet of Things, October 19-21, 2015, Doha, Qatar, pp. 562-571. Springer International Publishing.
- [9] Naeem, M., Moalla, N., Ouzrout, Y., and Bouras, A. (2014). An ontology based digital preservation system for enterprise collaboration. In Computer Systems and Applications (AICCSA), 2014 IEEE/ACS 11th International Conference on (pp. 691-698), IEEE.
- [10] Maroua HACHICHA, Nejib MOALLA, Muhammad Fahad, Yacine OUZRUT: A Maturity model to promote the performance of collaborative business processes, In the IFIP WG5. 12th International Conference on Product Lifecycle Management, (PLM IC'2015), Doha, Qatar, octobre 2015.
- [11] Maroua HACHICHA, Néjib MOALLA, Yacine OUZRUT, An analysis and assessment approach for collaborative process in Service- Oriented Architectures. 11th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA'2014), Doha, Qatar, novembre 2014.
- [12] Maroua HACHICHA, Néjib MOALLA, Yacine OUZRUT, Ontology based framework for Collaborative business process assessment. 4th International Conference on Information Society and Technology (ICIST'2014), Kopaonik, Serbia, Mars 2014.
- [13] Alberto Pliego Marugán, Ana María Peco Chacón, Fausto Pedro García Márquez. Reliability analysis of detecting false alarms that employ neural networks: A real case study on wind turbines. Reliability Engineering & System Safety, vol. 191, 2019, p. 1-12.
- [14] Andreas Werner, Nikolas Zimmermann, Joachim Lentjes. Approach for a Holistic Predictive Maintenance Strategy by Incorporating a Digital Twin. Procedia Manufacturing, vol., 2019, p. 1743-1751.
- [15] Jose-Raul Ruiz-Sarmiento, Javier Monroy, Francisco-Angel Moreno, Cipriano Galindo, Jose-Maria Bonelo, Javier Gonzalez-Jimenez. A predictive model for the maintenance of industrial machinery in the context of industry 4.0. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 87, 2020, p. 1-15.
- [13] LOSEY, Ralph C. Predictive Coding and the Proportionality Doctrine: A Marriage Made in Big Data. Regent UL Rev., 2013, vol. 26, p. 7.
- [14] BI, Zhuming et COCHRAN, David. Big data analytics with applications. Journal of Management Analytics, 2014, vol. 1, no 4, p. 249-265.
- [15] LEE, Jay, BAGHERI, Behrad, et KAO, Hung-An. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 2015, vol. 3, p. 18-23.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] AUSCHITZKY, Eric, HAMMER, Markus, et RAJAGOPAL, Agesan. How big data can improve manufacturing. McKinsey & Company, 2014.
- [19] 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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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.