



**HAL**  
open science

## INTEROPERABILITE DES SYSTEMES DE PRODUCTION ROBOTISES FLEXIBLES

Kalb Eddine Chelli, M'Hammed Sahnoun, Moussa Goumeye Souleymane,  
Anne Louis, David Baudry, Fabrice Duval

► **To cite this version:**

Kalb Eddine Chelli, M'Hammed Sahnoun, Moussa Goumeye Souleymane, Anne Louis, David Baudry, et al.. INTEROPERABILITE DES SYSTEMES DE PRODUCTION ROBOTISES FLEXIBLES. CONFERE 2018, Laboratoire de Conception de Produits et Innovation de L'ENSAM, Jul 2018, BU-DAPEST, Hongrie. hal-04107939

**HAL Id: hal-04107939**

**<https://normandie-univ.hal.science/hal-04107939>**

Submitted on 26 May 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# INTEROPERABILITE DES SYSTEMES DE PRODUCTION ROBOTISES FLEXIBLES

**Kalb Eddine CHELLI<sup>1</sup>, M'hammed SAHNOUN<sup>1</sup>, Souleymane MOUSSA<sup>1</sup>, Anne LOUIS<sup>1</sup>, David BAUDRY<sup>1</sup>, Fabice DUVAL<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>LINEACT (CESI), ROUEN, FRANCE

Mots clés : atelier de production flexible, industrie 4.0, MTConnect, robot manipulateur, ROS

**Résumé :** *L'industrie 4.0 désigne une nouvelle génération d'usines connectées, robotisées et intelligentes. La révolution numérique réduit de plus en plus les frontières entre le monde physique et digital afin de permettre l'apparition d'usine interconnectée assurant la collaboration entre les hommes et les machines et les produits interagissent pour donner une grande flexibilité à cette usine. Le grand nombre de machines et de robots, et la diversité de leurs fabricants et leurs systèmes font que l'interopérabilité entre eux n'est pas toujours assurée. Afin de résoudre ce problème, il faut standardiser les interfaces des organes de l'usine. Dans ce papier on propose une méthode d'interopérabilité entre les robots et les machines de l'usine basé sur l'utilisation du standard MTConnect. Ce dernier est ouvert et libre de redevance qui permet à l'équipement de fabrication de parler la langue de l'internet (http, XML). On a implémenté MTConnect sur ROS (Robot Operating System) afin de réaliser l'interopérabilité entre deux robots manipulateurs (UR5 et UR10) et montrer un comportement d'intelligence distribuée.*

## 1 INTRODUCTION

Au cours de ces dernières années beaucoup de chercheurs se sont intéressés à l'amélioration des systèmes de production, en travaillant sur l'atelier flexible et reconfigurable et l'intégration des Technologies de d'Information et de Communication (TIC). C'est dans ce cadre que l'industrie 4.0 (ou l'industrie du futur) vit le jour avec pour objectif de faire face au marché concurrentiel et de réduire la pénibilité du travail. Ainsi l'usine 4.0 est une usine connectée et intelligente qui se base sur de nouvelles technologies telles que l'IIoT (l'internet industriel des objets), les CPS (systèmes cyber physiques) ou encore le cloud-manufacturing. Par ailleurs, le l'usine 4.0 se compose d'organes autonomes possédant de l'intelligence embarquée et fonctionnant sur des architectures distribuées.

Cette révolution industrielle nécessite une interopérabilité et une intercommunication efficace entre les différentes machines de l'atelier de fabrication afin d'assurer une flexibilité dans la taille et la configuration de l'usine (ajouter des opérations, des machines, mettre à jour des logiciels, ...) [8]. L'interopérabilité représente une caractéristique d'un système de production dans lequel ses composants sont capables d'échanger des informations [4]. Elle représente une conception clé pour les systèmes de fabrication intelligents [1].

Un grand nombre de machines et de systèmes dans l'usine accumulent des informations sur leur fonctionnement et doivent les communiquer pour permettre aux autres organes de prendre des décisions plus intelligentes. La diversité des systèmes d'exploitation, des formats de données, et des fabricants font de cette communication une problématique difficile à résoudre rendant les systèmes de production peu interopérable. De nouvelles solutions facilitant la standardisation des interfaces de

machines et autres organes de l'atelier tels que les robots et les capteurs, doivent être développées afin d'apporter une forte intégration et permettre l'interopérabilité [2].

Parmi les standards développés dans ce sens, MTConnect est l'un des de ceux dont l'objectif est de fournir un moyen commun de communication entre les différents appareils sans nécessiter une infrastructure matérielle ou logicielle spécifique pour les relier. Il représente un standard de communication ouvert pour l'interconnexion, qui permet aux périphériques, équipements et systèmes de communiquer des données dans un format compréhensible qui peut être lu par n'importe quel autre périphérique [2]. MTConnect a été utilisé avec succès dans plusieurs applications tels que la conservation d'énergie [2] [7], le lean-manufacturing, l'analyse des données [5] [6], la surveillance des systèmes [5] [3] et la commande basée sur les événements (event-based feedback control) en temps réel [9]. MTConnect, est caractérisé par son aspect « read only » qui sert ne permet pas d'envoyer des commandes aux organes de l'usine, mais il assure grande sécurité et permet de mettre en place des organisations basées sur l'intelligence embarquée des organes de productions [10].

La prochaine section de ce papier présentera la définition et l'étude de MTConnect. La section trois présentes les documents qui permettent l'échange d'information par MTConnect. Nous présenterons par la suite notre cas d'étude et l'architecture que nous avons adopté. La section cinq décrit l'implémentation réelle de l'architecture adoptée et la discussion des observations faite sur le fonctionnement des robots. L'article de termine par une conclusion et décrit les perspectives de ce travail.

## 2 DEFINITION ET COMPOSANTS DE MTCONNECT

MTConnect est un standard d'échange de données et d'informations basé sur un dictionnaire de données (data dictionary) des termes décrivant les informations associées aux opérations de fabrication. Le standard définit également une série de modèles de données sémantiques – (semantic data models) qui fournit une représentation claire et sans ambiguïté des données générées par une machine de production. Le standard MTConnect permet aux applications logicielles et équipements de fabrication d'interagir dans un environnement Plug-and-play pour réduire le coût de l'intégration des systèmes et logiciels de fabrication. MTConnect est basé sur les technologies réseau et internet standard ethernet, protocole http et format xml (extensible mark-up language - langage sous-jacent de la plupart des sites web) [11]. MTConnect est constitué de cinq composants fondamentaux [13] :

- **Device** : Un type d'équipement (Machine-outil) ou une source de données (capteur).
- **Adapter** : Un logiciel facultatif (parfois matériel), considéré comme un traducteur, qui fournit un lien ou une conversion de la donnée brute (format incompréhensible) vers une donnée structurée (compréhensible). Une fois les données préparées, l'adaptateur (adapter) renvoie le tout vers l'agent MTConnect. L'adaptateur n'est pas nécessaire pour les périphériques qui utilisent déjà MTConnect.
- **Agent** : Un logiciel qui collecte, gère et stocke les données de l'appareil. Il reçoit les requêtes provenant des applications, traite ces demandes, puis transmet les données requises.
- **Network** : La connexion physique entre une source de données (périphérique) et le consommateur de données (application). Normalement, il s'agit d'un réseau Ethernet. La communication sur le réseau utilise normalement les méthodes de communication Internet standard (protocole http). Il convient de noter que la structure MTConnect est adaptable et peut être mise en œuvre conjointement avec d'autres solutions de mise en réseau autres que les protocoles Ethernet et Internet.
- **Client** : Un client lance toutes les demandes de données MTConnect. Un client réside dans une application ou un périphérique. Le client est une fonction logicielle de l'application ou du périphérique qui demande des données à l'agent [13].

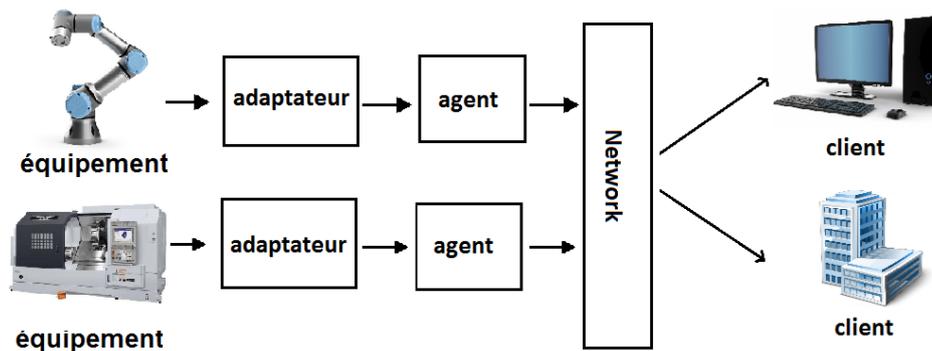


Figure 1 : Architecture de MTConnect

### 3 TYPES DE DOCUMENT MTCONNECT

L'agent MTConnect reçoit des demandes d'informations provenant d'une ou de plusieurs applications logicielles clientes, puis répond à ces demandes en publiant un document de réponse contenant les informations demandées.

Trois types d'informations sont stockés par un agent MTConnect :

- **MTConnectDevices** : un document électronique contenant les informations publiées par un agent MTConnect décrivant les données qui peuvent être publiées par une ou plusieurs pièces de l'équipement (capteurs, axes ...).
- **MTConnectStreams** : un document électronique contenant les informations publiées par un agent MTConnect contenant les données publiées par une ou plusieurs pièces de l'équipement.
- **MTConnectAssets** : un document électronique contenant les informations publiées par un agent MTConnect pouvant contenir un ou plusieurs documents Asset (ex : outil).
- **MTConnectError** : un document électronique contenant les informations fournies par un agent MTConnect lorsqu'une erreur s'est produite lors d'une tentative de réponse à une demande de données.

#### Mtconnect interface

Dans de nombreux processus de fabrication, plusieurs entités de production doivent travailler ensemble pour accomplir une tâche prédéfinie. La méthode traditionnelle de coordination des activités entre des équipements individuels consiste à les relier ensemble en utilisant une série de signaux pour communiquer les états de l'équipement et les demandes d'action. Ces interactions sont généralement accomplies en utilisant de simples signaux ON / OFF binaires [12].

Dans le standard MTConnect, Interface fournit un moyen de remplacer cette méthode traditionnelle pour l'interconnexion des équipements avec un modèle d'interaction structuré (Interaction Model), ce modèle fournit un ensemble d'informations utilisées pour coordonner les actions entre les équipements.

Deux fonctions principales sont nécessaires pour implémenter le modèle d'interaction pour les interfaces et gérer le flux d'informations entre les équipements. Chaque pièce d'équipement doit avoir :

- Un agent MTConnect qui fournit :
  - Les données requises pour implémenter le modèle d'interaction.
  - Toute autre donnée provenant d'un équipement nécessaire à la mise en œuvre de l'interface.
- Une application logicielle client qui permet à l'équipement d'acquérir et d'interpréter des informations provenant d'un autre équipement.

### 4 ARCHITECTURE DU SYSTEME

Le système sur lequel on souhaite implémenter et tester MTConnect est constitué de deux universal robots (UR5 et UR10), qui effectueront une tâche collaborative sur le transport d'un produit. Ils sont contrôlés à partir de deux ordinateurs équipé chacun de ROS avec un package (ur\_driver) permettant de contrôler le robot associé. Nous avons aussi installé le meta-package Moveit pour la génération des trajectoires des bras. Une connexion Ethernet est utilisée pour connecter chaque

ordinateur à internet ce qui permettra la transmission de donnée via MTConnect comme le montre la Figure 2.

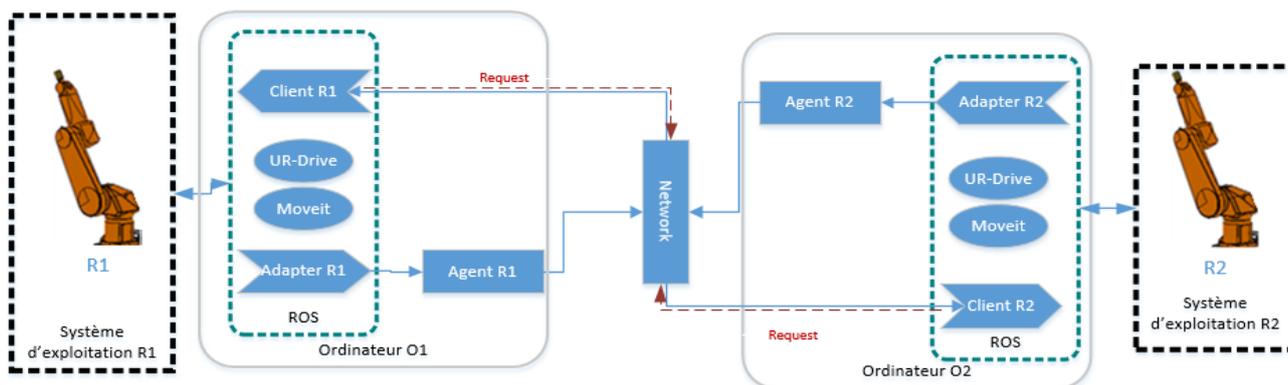


Figure 2 : Architecture du système

Par ailleurs, nous avons installé et adapté le package ros-bridge pour notre application. Ce package fournit un adaptateur afin de créer un nœud subscriber pour traduire les informations du robot UR vers un agent MTConnect, sur un format SHDR (Simple Hierarchical Data Representation). L'agent MTConnect fait la collection des données qu'il envoie quand il reçoit une demande par un client. Chaque équipement (ROBOT) doit être décrit dans un fichier XML par le standard MTConnect.

```

<MTConnectStreams xmlns:schemaLocation="urn:mtconnect.org:MTConnectStreams:1.4 http://schemas.mtconnect.org/schemas/MTConnectStreams_1.4.xsd"
  <Header creationTime="2018-06-21T12:45:07Z" sender="msahounabuntu@latitude-E5520" instanceId="152994893" version="1.4.0.10" bufferSize="131072" nextSequence="287510" firstSequence="156438"
  lastSequence="287509"/>
  <Streams>
    <DeviceStream name="universal robot" uuid="ur_driver">
      <ComponentStream component="joint" name="" componentId="">
        <Samples>
          <PathPosition dataItemId="j1_angle" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j1_angle" sequence="287494" subType="ACTUAL">-0.450102154409</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j1_effort" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j1_effort" sequence="287504" subType="ACTUAL">1.1444092989</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j1_vitess" timestamp="2018-06-21T12:45:07.191230Z" name="j1_vitess" sequence="287482" subType="ACTUAL">-0.001099353</PathPosition>
        </Samples>
      </ComponentStream>
      <ComponentStream component="joint" name="" componentId="">
        <Samples>
          <PathPosition dataItemId="j2_angle" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j2_angle" sequence="287495" subType="ACTUAL">-1.55108672777</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j2_effort" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j2_effort" sequence="287505" subType="ACTUAL">2.8518679142</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j2_vitess" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j2_vitess" sequence="287500" subType="ACTUAL">-0.04598108</PathPosition>
        </Samples>
      </ComponentStream>
      <ComponentStream component="joint" name="" componentId="">
        <Samples>
          <PathPosition dataItemId="j3_angle" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j3_angle" sequence="287496" subType="ACTUAL">-0.716403309499</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j3_effort" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j3_effort" sequence="287506" subType="ACTUAL">1.71050143242</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j3_vitess" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j3_vitess" sequence="287501" subType="ACTUAL">-0.1023677</PathPosition>
        </Samples>
      </ComponentStream>
      <ComponentStream component="joint" name="" componentId="">
        <Samples>
          <PathPosition dataItemId="j4_angle" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j4_angle" sequence="287497" subType="ACTUAL">-1.31726628939</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j4_effort" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j4_effort" sequence="287507" subType="ACTUAL">0.53833013773</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j4_vitess" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j4_vitess" sequence="287502" subType="ACTUAL">-0.03717986</PathPosition>
        </Samples>
      </ComponentStream>
      <ComponentStream component="joint" name="" componentId="">
        <Samples>
          <PathPosition dataItemId="j5_angle" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j5_angle" sequence="287498" subType="ACTUAL">-0.0199893156635</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j5_effort" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j5_effort" sequence="287508" subType="ACTUAL">0.2327639699</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j5_vitess" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j5_vitess" sequence="287486" subType="ACTUAL">-0.00120801</PathPosition>
        </Samples>
      </ComponentStream>
      <ComponentStream component="joint" name="" componentId="">
        <Samples>
          <PathPosition dataItemId="j6_angle" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j6_angle" sequence="287499" subType="ACTUAL">-0.0269487539874</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j6_effort" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j6_effort" sequence="287509" subType="ACTUAL">0.320755034685</PathPosition>
          <PathPosition dataItemId="j6_vitess" timestamp="2018-06-21T12:45:07.199409Z" name="j6_vitess" sequence="287503" subType="ACTUAL">-0.02053617</PathPosition>
        </Samples>
      </ComponentStream>
    </DeviceStream>
  </Streams>
  <ComponentStream component="Device" name="universal robot" componentId="ur5">

```

Figure 3 : Réponse MTConnect current.

Chaque client envoie une demande afin d'obtenir un type d'information donnée. Il existe plusieurs types de demande dans MTConnect :

- Probe : Un agent MTConnect répond à une demande Probe avec un document de réponse MTConnectDevices contenant les métadonnées d'équipement pour les parties de l'équipement demandées et actuellement représentées dans l'agent.
- Current : Un agent MTConnect répond à une demande Current avec un document de réponse MTConnectStreams qui contient la valeur actuelle des entités de données associées à chaque élément de données de diffusion disponible auprès de l'agent, sous réserve de tout filtrage défini dans la demande.

- Sample : Un agent MTConnect répond à une demande Sample avec un document de réponse MTConnectStreams qui contient un ensemble de valeurs pour les entités de données actuellement disponibles pour la diffusion de données depuis l'agent, sous réserve de tout filtrage défini dans la demande.
- Asset : Un agent MTConnect répond à une demande Asset avec un document de réponse MTConnectAssets contenant des informations sur les ressources MTConnect de l'agent, sous réserve de tout filtrage défini dans la demande.

La Figure 3 montre un exemple d'une réponse de l'agent MTConnect du robot UR10, pour une demande Current effectué par le navigateur Firefox (client), toutes les personnes ou les équipements connectés au même réseau peuvent voir ces informations par une demande sur l'adresse http de l'agent <IP adresse > suivi par le type de la demande. Sur l'exemple avec FireFox on peut observer l'adresse suivante : <http://localhost:5000/current> où localhost représente l'adress IP du pc local. Ce fichier contient les informations sur la position, la vitesse et l'effort sur chaque articulation du robot.

## 5 INTEROPERABILITE ENTRE DEUX ROBOT

Nous avons créé un programme ROS basé sur l'utilisation de package (ur\_driver), pour envoyer les demandes d'informations sur les angles des articulations du deuxième robot à son agent et vice versa. L'intégration de cette application dans ROS de chaque robot (UR5 et UR10), leur donne la capacité de lire les informations l'un de l'autre.

D'une manière générale, l'agent MTConnect est capable de transmettre plusieurs informations (angles, vitesses et forces de chaque articulation, les portes entrées/sorties), dans notre expérience nous avons utilisé les angles des articulations du chaque robot et les sorties leurs pinces.

Notre application consiste que UR10 ramasse une boîte de la table et se déplace jusqu'au point de rencontre avec UR5, puis il envoie une demande Current à l'agent MTConnect de UR5 pour voir son état, dans l'autre coté le robot UR5 se déplace aussi jusqu'au point de rencontre où il fait aussi un demande Current à l'agent MTConnect de UR10 pour voir si ce dernier est dans la bonne position, si ce condition est vrais, UR5 s'avance pour prendre la boîte et UR10 peut savoir que UR5 est arrivé et va prendre la boîte. Par cette méthode et le changement les états des pinces et les positions entre les deux robots, ils peuvent changer la boîtes de UR10 à UR5, ensuite UR5 va mettre la boîte dans sa place et UR10 va ramasser une autre boîte, ici cet opération va répéter plusieurs fois. La figure 4 montre les deux robots à l'instant de l'échange de la boîte.

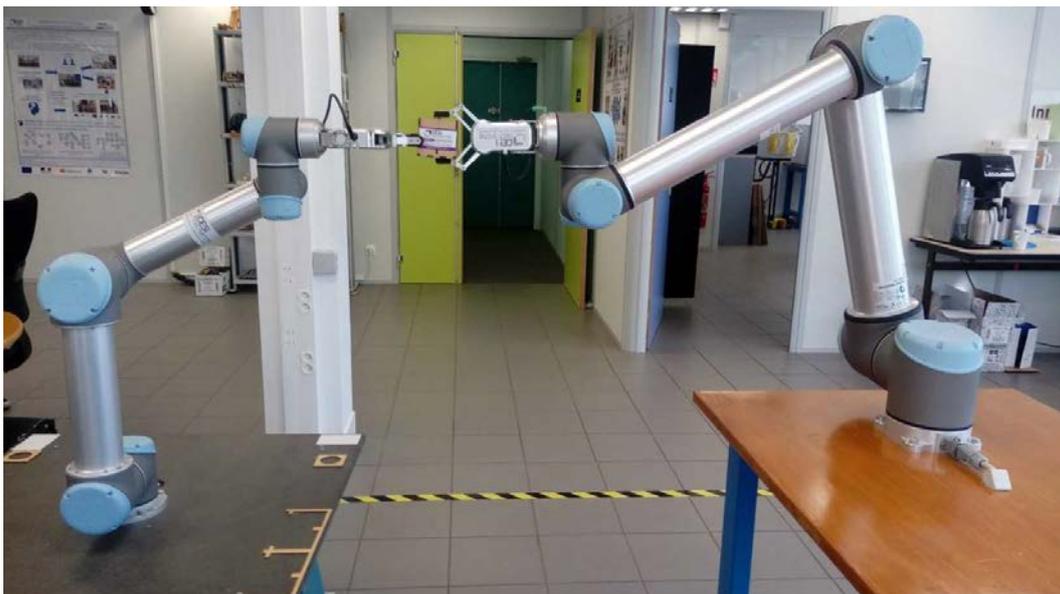


Figure 4 : Interopérabilité entre UR5 et UR10

## 5 CONCLUSION

En synthèse, nous pouvons conclure que MTConnect est un standard de communication utile qu'il faudra utiliser dans l'industrie du futur, étant donné qu'il permet la transmission de données dans une seule direction. Cette unidirectionnalité, donne une forme de sécurité aux composantes de l'usine car elles ne pourront recevoir d'ordres au travers de ce standard. Nous avons fait son implémentation pour remonter des données entre deux bras manipulateur UR5 et UR10. Nous avons trouvé que l'interopérabilité entre les deux robots est très performante, les deux robots ont travaillé dans la même tâche sans communication direct, ils ont utilisé ses intelligences et les informations partager par MTConnect de chaque un pour compléter le travail. Dans le prochain travail nous allons essayer d'appliquer une autre méthode en utilisant MTConnect interface.

## REMERCIEMENT

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet COROT, cofinancé par l'Europe à travers le dispositif Interreg VA France Channel England que nous remercions.

## REFERENCES

- [1] R. E. Andersen, E. B. Hansen, D. Cerny, S. Madsen, B. Pulendralingam, S. Bogh et D. Chrysostomou, «Integration of a Skill-based Collaborative Mobile Robot in a Smart Cyber-Physical Environment,» *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 114-123, 2017.
- [2] A. Vijayaraghavan, W. Sobel, A. Fox, D. Dornfeld et P. Warndorf, «Improving machine tool interoperability using standardized interface protocols: MT connect,» 2008.
- [3] A. Vijayaraghavan, D. Dornfeld et others, «Addressing process planning and verification issues with MTConnect,» 2009.
- [4] Y. Liao, L. F. P. Ramos, M. Saturno, F. Deschamps, E. d. F. R. Loures et A. L. Szejka, «The Role of Interoperability in The Fourth Industrial Revolution Era,» *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, pp. 12434-12439, 2017.
- [5] P. Lei, L. Zheng, C. Li et X. Li, «MTConnect enabled interoperable monitoring system for finish machining assembly interfaces of large-scale components,» *Procedia CIRP*, vol. 56, pp. 378-383, 2016.
- [6] B. E. Lee, J. Michaloski, F. Proctor, S. Venkatesh et N. Bengtsson, «MtConnect-Based kaizen for machine tool processes,» chez *ASME 2010 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2010.
- [7] B. Edrington, B. Zhao, A. Hansel, M. Mori et M. Fujishima, «Machine monitoring system based on MTConnect technology,» *Procedia CIRP*, vol. 22, pp. 92-97, 2014.
- [8] M. Saturno, L. F. P. Ramos, F. Polato, F. Deschamps et E. d. F. R. Loures, «Evaluation of Interoperability between Automation Systems using Multi-criteria Methods,» *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1837-1845, 2017.
- [9] S. Malik et M. D. Bedillion, «Event-based temperature control for machining using MTConnect,» chez *ASME 2012 international mechanical engineering congress and exposition*, 2012.
- [10] S. Atluru et A. Deshpande, «Data to information: can MTConnect deliver the promise,» *Transactions of NAMRI/SME*, vol. 37, pp. 197-204, 2009.
- [11] W. Sobel, «MTConnect Standard Part 1 - Overview and Protocol,» 2014.
- [12] W. Sobel, «MTConnect Standard Part 5.0 Interfaces,» 2016.
- [13] «MTConnect OPC UA Companion Specification,» 2013.

Contact principal: CHELLI Kalb Eddine

Email : [kalbeddine.chelli@gmail.com](mailto:kalbeddine.chelli@gmail.com)

Tel : 0603825763