

# Plateformes pour l'industrie 4.0 : Enjeux et solutions

**D. ESPES<sup>a</sup>, L. EVENO<sup>b</sup>, S. ALEM<sup>b</sup>, J. VAREILLE<sup>a</sup>, Y. AUTRET<sup>a</sup>,  
F. DE LAMOTTE<sup>b</sup>, P. LE-PARC<sup>a</sup>, E. MARTIN<sup>b</sup>, L. NANA<sup>a</sup>**

a. Université de Bretagne Occidentale – Lab-STICC, 20 avenue Victor le Gorgeu, Brest - France  
{espes@univ-brest.fr, vareille@univ-brest.fr, autret@univ-brest.fr, le-parc@univ-brest.fr, nana@univ-brest.fr}

b. Université de Bretagne Sud – Lab-STICC, 4 rue Jean Zay, Lorient – France  
{eveno@univ-ubs.fr, alem@univ-ubs.fr, lamotte@univ-ubs.fr, martin@univ-ubs.fr}

## Résumé :

*L'industrie connaît actuellement un vrai bouleversement. Elle intègre de nouvelles technologies comme le cloud, les systèmes cyber-physiques, l'internet des objets industriels, l'internet des services... Cette évolution permet d'améliorer la compétitivité des industries au niveau international et de gérer précisément le cycle de vie d'un produit. Cependant ces technologies complexifient grandement l'environnement industriel et sont confrontés à de nombreux challenges tels que la garantie d'une production continue et l'assurance de la cybersécurité. Pour offrir une transition aisée aux industries, il est nécessaire de répondre à de tels challenges. Les plateformes sont donc le meilleur moyen pour étudier le comportement d'un composant cyber-physique avant son ajout en production et de faciliter une telle transition. Dans ce papier, deux plateformes relatives à l'industrie 4.0 sont présentées.*

## Abstract:

*The industry is experiencing an age of transformations to reduce operational cost and increase its competitiveness. It integrates new technologies such as the cloud, cyber-physical systems, the Industrial Internet of Things, the Internet of Services... Through this evolution, the lifecycle management of a product can be ensured. However, these technologies greatly complicate the industrial environment that faces many challenges such as the guarantee of continuous production and the assurance of cybersecurity. The use of platforms is the best way to study the features introduced by the Industry 4.0. In this paper, two Industry 4.0 platforms are presented.*

**Mots clés : Industrie du futur, plateformes, cybersécurité, usine digitale, analyse des données**

## 1 Introduction

Afin de gagner en compétitivité et de maîtriser de bout en bout le cycle de vie d'un produit (c'est-à-dire de sa conception à sa fabrication), le monde industriel doit s'adapter. En effet, les besoins des clients évoluent requérant une adaptation de la production en fonction de leurs demandes, des délais de

fabrication plus courts et un suivi de la production individualisé [1]. De même, la complexité croissante des produits, le besoin d'une production flexible et agile et la réduction des coûts et des délais obligent les industries à diversifier leurs partenaires et leurs fournisseurs. Un produit est donc aujourd'hui perçu comme un service, reposant sur la coopération entre plusieurs industries, qui sera offert à un client. C'est d'autant plus vrai pour les petites et moyennes entreprises, qui doivent reposer sur un grand nombre de partenaires (logistique, manutention...) pour rester compétitif [2].

La quatrième révolution industrielle, dans laquelle on est actuellement, permet justement de répondre à ces besoins. La quatrième génération d'industrie, plus communément appelée industrie 4.0, se distingue des générations précédentes car elle respecte les 6 principes suivants [3] :

- **Virtualisation** : Pour maîtriser le cycle de vie d'un produit, il est important d'avoir une image passée, actuelle et à venir de l'évolution de ce produit. Les systèmes cyber-physiques sont des composants logiciels et/ou matériels qui participent à la fabrication d'un produit. Ces systèmes permettent de fournir un modèle virtuel, des opérations qu'ils réalisent, qui est enrichi continuellement par les données physiques provenant de la chaîne de fabrication (ou du produit lui-même) [4]. Le modèle virtuel peut donc être utilisé pour ajuster/modifier la conception d'un produit mais également pour prévoir l'évolution de ce dernier en fonction de l'usage qui en est fait (panne à venir...).
- **Interopérabilité** : Durant le cycle de vie d'un produit, un grand nombre de systèmes cyber-physiques vont interagir entre eux. Ces systèmes provenant de différents vendeurs, l'interopérabilité est donc essentielle pour une coopération efficace.
- **Décentralisation** : La demande croissante de produits spécifiques à un client et la complexité de leur fabrication nécessite une décentralisation du contrôle. En effet, les systèmes cyber-physiques requièrent bien souvent d'accomplir des tâches complexes en respectant de fortes contraintes temps-réel. Bien qu'il soit indispensable de maintenir une vision globale de la chaîne de fabrication, les prises de décision pour la réalisation d'une tâche sont prises au plus proche de l'équipement qui la réalise.
- **Capacité temps-réel** : Les tâches organisationnelles d'une chaîne de fabrication doivent être supervisées et analysées en temps-réel. Une production continue peut donc être assurée et cela même en cas de panne.
- **Orientée service** : Une industrie, pour fabriquer un produit, va reposer sur un ensemble d'industrie prestataire qui vont accomplir une tâche spécifique (logistique, manutention, conception...). Le chaînage de ces tâches permet d'accomplir un service spécifique qui est propre à chaque client. Une chaîne de fabrication a donc une portée bien plus grande que celle d'une seule industrie. L'internet des Services permet de mettre en relation chaque tâche lorsque c'est nécessaire [5] pour faire progresser la fabrication d'un produit.
- **Modularité** : Comme mentionné précédemment, un service requis par un client peut demander la coopération de plusieurs industries. La modularité consiste à pouvoir identifier l'industrie qui est le plus à même de pouvoir accomplir une tâche (en fonction de critères tels que la qualité attendue, le coût...) et de pouvoir en changer sans impacter la réalisation du produit.

Les 4 premiers principes (interopérabilité, virtualisation, décentralisation et capacité temps-réel) sont fournis par une industrie intelligente (ou smart factory) qui est le cœur d'une industrie de quatrième génération [6] et les deux derniers concernent les interactions entre les industries intelligentes pour fournir un service complet.

La mise en œuvre de ces principes repose sur l'utilisation d'un grand nombre de technologies [7]. Lorsqu'une industrie souhaite ajouter des fonctionnalités à son architecture existante (tels que de

nouveaux composants, de nouvelles méthodes d'analyse...), il est délicat de le réaliser directement sur la ligne de production. En effet, un problème survenu suite à l'intégration de ces fonctionnalités peut interrompre le fonctionnement continu de la chaîne fabrication et avoir de lourdes pertes financières pour l'industrie. Il est donc essentiel de pouvoir tester ces fonctionnalités en amont et ainsi s'assurer de leurs correctes intégrations.

Une telle phase peut être réalisée de deux manières. La première consiste à utiliser la fonctionnalité de virtualisation, en simulant l'ajout d'une telle fonctionnalité au modèle virtuel existant. La difficulté d'une telle approche consiste en l'obtention du modèle. En effet, le modèle ne peut généralement pas être générique puisqu'il doit être adapté au contexte de l'industrie. La deuxième solution consiste à utiliser une plateforme qui permet à l'aide d'une framework de reproduire le plus fidèlement possible le contexte de l'industrie et l'architecture qui la compose. L'ajout d'une fonctionnalité pourra donc être testé et modéliser en fonction des besoins de l'industriel.

Dans ce papier, nous allons présenter deux plateformes accessibles pour les industriels et les académiques afin de tester leurs solutions. La première plateforme, située à Lorient, regroupe l'ensemble des composants logiciels d'une industrie 4.0 et permet d'étudier la transition vers une usine digitale et virtuelle, l'adaptation des conditions de travail dans ces environnements et d'analyser les données provenant de processus métiers pour en prendre des décisions. La deuxième plateforme, située à Brest, se focalise sur l'étude de la cybersécurité de ces environnements. L'objectif est double : étudier les attaques et leurs impacts sur une industrie 4.0, et étudier ou adapter les mécanismes de sécurité eux-mêmes au contexte de l'industrie.

La section 2 présente les problématiques rencontrées par les industriels et leur nécessité à recourir à des plateformes ouvertes. La section 3 présente les plateformes de Lorient et de Brest, et enfin la section 4 conclura.

## 2 Problématiques

La complexité d'une industrie 4.0 est sans commune mesure avec celle des industries de 3<sup>ème</sup> génération. En effet, de nombreuses technologies sont adoptées (cloud, internet des objets, intégration IT/OT, systèmes cyber-physiques...) pour satisfaire aux exigences d'automatisation et de traçabilité souhaités.

L'ajout d'un nouveau composant peut donc remettre en question le bon fonctionnement de la chaîne de fabrication. Une phase de test est donc requise, en amont, pour évaluer l'impact d'un tel composant sur l'architecture existante.

La virtualisation des systèmes cyber-physiques est le moyen idéal pour simuler le comportement et l'ajout de ces composants dans un contexte donné. Cependant la difficulté de cette approche est de concevoir le modèle fonctionnel de ce composant. Même s'il est fourni par le vendeur, le modèle est souvent générique et par forcément adapté au contexte de l'industrie.

Une plateforme est donc requise pour pouvoir concevoir ce modèle. La plateforme peut être hybride donc intégrer une partie virtuelle et matérielle. La partie virtuelle, fournie par l'industrie, intègre le modèle des composants qui est connu et adapté au contexte de ladite industrie. La partie matérielle consiste généralement au nouveau composant. Un tel composant est donc ajouté à l'architecture virtuelle existante qui lui fournit les données de production, si le composant est logiciel, ou un composant physique en entrée, si le composant est logiciel et matériel. Le comportement du composant peut ainsi être modélisé et vérifier qu'il respecte bien les contraintes imposées par l'industrie.

Les problématiques de ces plateformes sont cependant multiples et requièrent :

- L'anonymisation des données : l'industriel ne peut pas fournir directement des données provenant de ses propres chaînes de fabrication. En effet, la fabrication des produits et de certaines recettes sont bien souvent confidentielles et propres au client. Une phase d'anonymisation est donc requise pour que les données soient suffisamment fiables pour être utilisées au sein de la plateforme tout en assurant de ne pas pouvoir identifier le client ou connaître une recette précise d'un produit.
- L'automatisation des scénarii : la plateforme doit pouvoir être utilisée très aisément en offrant les possibilités d'intégrer le modèle virtuel et le composant à étudier de manière aisée. Il est cependant requis d'utiliser un langage commun pour représenter le modèle virtuel.
- La conception d'un modèle : A partir de données de production, il est nécessaire de pouvoir concevoir un modèle virtuel proche de l'existant. Lorsque le produit est fabriqué intégralement par un industriel, il a la connaissance globale de sa chaîne de fabrication, et le modèle peut être représenté de diverses manières (automate, réseau de petri...) et être assez fidèle à la réalité. Cependant lorsque la fabrication du produit requiert l'interaction de plusieurs industries, le modèle est bien plus complexe à représenter et peu comprendre de nombreux biais.
- L'interprétabilité des résultats : les résultats en sortie doivent être facilement interprétable afin de pouvoir identifier si le composant peut être intégré ou non à l'architecture.

Les challenges à résoudre sont donc nombreux pour modéliser au mieux le comportement d'une industrie 4.0 et l'intégration de nouveaux composants en son sein.

### 3 Plateformes ouvertes

Pour répondre à ces problématiques, les universités de Bretagne Sud et de Bretagne se sont dotées de plateformes représentant une industrie 4.0 pour répondre aux problématiques énoncées dans la section précédente. Une telle problématique étant très récente, les travaux de recherche sont encore à leurs débuts.

#### 3.1 Université de Bretagne Sud

La plateforme SCAP - Systèmes Cyber-physiques Adaptatifs de Production - industrie du futur a pour domaine d'étude la transition numérique pour les industries de production manufacturière. Cette plateforme est née de la volonté du laboratoire de recherche Lab-STICC de mettre à disposition des industries ses compétences, pour les accompagner dans la transition numérique de l'industrie 4.0.

Les défis de l'industrie 4.0 peuvent trouver un appui dans les sciences du numérique. De nombreux travaux de recherche ont été développés par le laboratoire de recherche Lab-STICC : Réalité 3D et agents intelligents ; ingénierie des modèles et conception sûre ; ontologie des données et interopérabilité des progiciels ; modélisation des systèmes sociotechniques complexe ; datascience... Ces recherches trouvent, au sein de la plateforme SCAP, un appui technologique dans un écosystème industriel.

L'enjeu de la plateforme SCAP industrie du futur est avant tout d'établir un lien entre les champs des besoins et les champs du possible : formaliser une problématique, trouver une technologie ou un domaine scientifique qui peut y répondre, développer, adapter et montrer. L'enjeu ici est de renforcer

les coopérations entre des métiers qui s'ignorent souvent et qui se comprennent difficilement, ceux de la production industrielle et des sciences du numérique.

La plateforme SCAP industrie du futur a structuré ces activités autour de quatre grandes thématiques :

- L'usine virtuelle : l'intérêt est de modéliser et de simuler un site industriel, une ligne de production ou un poste de la chaîne logistique afin d'en qualifier le cahier des charges, d'en analyser les performances tant techniques qu'humaines.
- L'usine digitale : en structurant les informations de l'ensemble des activités de l'usine de production, l'entreprise développe un meilleur pilotage, une meilleure capacité à réagir et une plus grande agilité. L'usine digitale repose sur l'usage des objets connectés, l'urbanisation du système d'information industriels, l'ingénierie des données et la cybersécurité industrielle.
- L'homme au travail : le laboratoire de recherche Lab-STICC mène des travaux sur des domaines intégrant les dimensions numériques et psychologiques comme l'ergonomie ou la psychologie cognitive. Ces travaux intègrent la Cobotisation, les IHM écologiques ou la charge mentale dans des approches globales de l'interaction homme – système.
- L'analyse des données : la production d'informations au sein de l'usine digitale ouvre la possibilité d'explorer les données de production industrielle pour aider à prendre des décisions de manière plus éclairée en tenant compte de multiples facteurs au bénéfice d'un pilotage plus agile de l'usine digitale.

Ces différentes thématiques de recherches ont amené la plateforme SCAP industrie du futur à se doter au cours de l'année 2018 de matériels industriels permettant la mise en place de solutions agiles et adaptatives dans des domaines tels que la cyber-sécurité industrielle, les objets industriels connectés (IIoT) ou la mise en place de solution de transitiques permettant la gestion et la simulation de flux d'une entreprise industrielle (voir Figure 1).

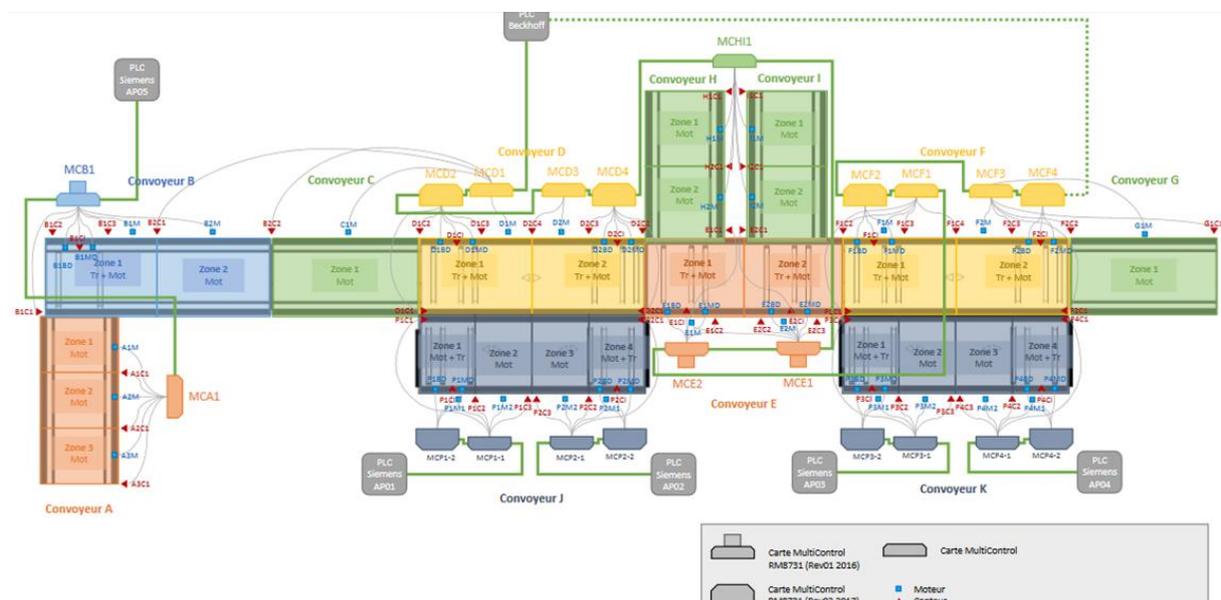


Figure 1. Plateforme Industrie 4.0 à l'université de Bretagne Sud

### 3.2 Université de Bretagne Occidentale

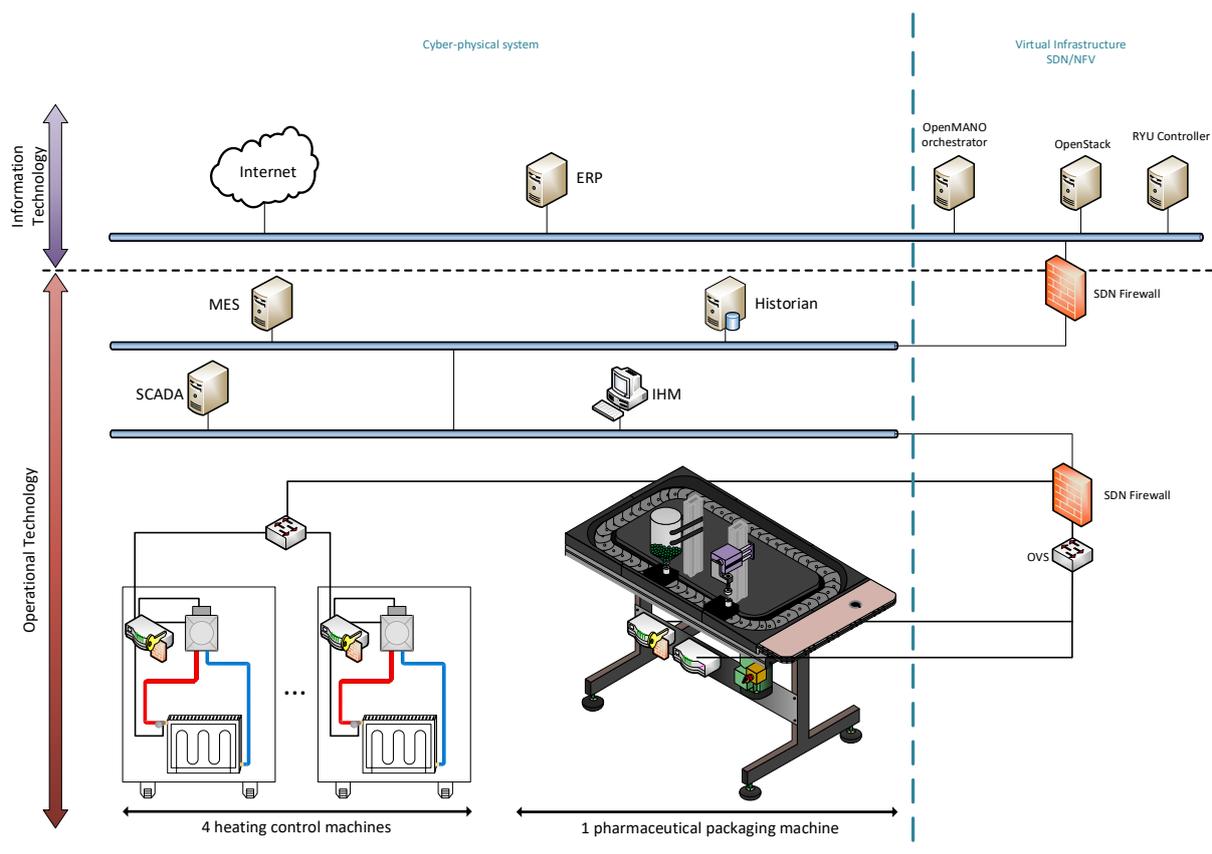
Initialement, les systèmes de contrôle industriels étaient donc cloisonnés et isolés de l'extérieur. Avec la mise en place des technologies utilisées dans l'industrie 4.0, les frontières deviennent de plus en plus floues ce qui complexifie grandement leur sécurité.

Pour garantir un fonctionnement optimal de ces infrastructures, les mécanismes de sécurité doivent : 1) maintenir un fonctionnement continu en protégeant des attaques, 2) détecter les attaques et apporter la réaction appropriée, et 3) être totalement transparents en ne modifiant pas le comportement de la chaîne de fabrication.

L'ordre d'importance des propriétés d'une industrie 4.0 est donc de garantir en premier lieu la disponibilité du système puis son intégrité et afin de garantir sa confidentialité. A contrario, l'importance des propriétés de sécurité est inversée dans le domaine des entreprises des technologies d'information (confidentialité > intégrité > disponibilité). Cette perception inversée de la cybersécurité nécessite des mécanismes de sécurité spécifiques à de tels environnements. En effet, les mécanismes de sécurité sont aujourd'hui majoritairement conçus pour les technologies d'information.

Les mécanismes de sécurité doivent donc être adaptés à ce contexte particulier et les menaces à l'encontre de ces infrastructures spécifiques doivent être identifiées. Les principales difficultés dans la conception de tels mécanismes sont :

- Respecter les contraintes opérationnelles du système
- Prendre en compte l'hétérogénéité des protocoles d'un système de contrôle industriel
- Travailler sur des données anonymisées
- Proposer des solutions verticales



**Figure 2.** Plateforme Industrie 4.0 à l'université de Bretagne Occidentale

Pour répondre à ces problèmes, l'université de Bretagne Occidentale a fait l'acquisition, dans le cadre du CPER Cyber-SSI, d'une plateforme dédiée à la recherche mettant en œuvre une industrie 4.0 (voir Figure 2). Elle permet de faire collaborer les outils de gestion du personnel et de ressources communément utilisés dans les technologies d'information avec le gestionnaire de contrôle et supervision déployé dans les technologies d'opération. Cette plateforme correspond à un système

intégré de production de conditionnement de comprimés. Le but est de remplir des tubes de billes (représentant les comprimés) qui se déplacent sur un système de plateau composé d'une transitive libre avec codage RFID. L'ensemble de la chaîne est totalement automatisé depuis la commande client jusqu'au stockage des tubes de comprimés.

Cette plateforme est composée de trois parties :

1. Technologies d'information : Dans l'usine 4.0, l'ensemble du procédé de fabrication est contrôlé par les outils de gestion des ressources matérielles et humaines utilisées dans les entreprises IT. La plateforme intègre un progiciel ERP qui permettra la quantification des stocks, des commandes clients, le suivi du personnel et des tâches qui leur incombent...
2. Technologies d'opération : Le procédé de fabrication concerne principalement la partie distribution d'une chaîne de comprimés pharmaceutiques, c'est-à-dire la phase finale du processus de fabrication. Cette chaîne de fabrication est donc restreinte à un équipement pour le conditionnement de billes (représentants les comprimés) et un équipement de manipulation et stockage équipé d'un bras manipulateur.
3. Interface entre ces deux types : Afin de garantir un fonctionnement optimal de la chaîne de fabrication et d'informer en temps réel le consommateur, il est important d'avoir une traçabilité des opérations tout au long de la fabrication et de la distribution du produit fini. Afin de garantir une telle traçabilité, la plateforme intègre un MES.

## 4 Conclusion

L'industrie manufacturière est un secteur d'activité essentiel pour la région Bretagne. La part de l'emploi industriel (qui s'élève à 25% du total de l'emploi salarié) est bien plus importante que celle de la moyenne nationale (qui s'élève à 20%). La transition vers l'industrie 4.0 est donc un enjeu majeur pour la région, mais également pour le reste du territoire.

Les bénéfices d'une industrie 4.0 ne sont plus à démontrer et permettent d'améliorer la gestion du cycle de vie d'un produit tout en augmentant la compétitivité des industries sur le plan international. Cependant une telle transition ne peut être réalisée du jour au lendemain. Les industriels doivent s'assurer qu'elle peut se faire en douceur et ne pas engendrer de problématiques de sécurité supplémentaires.

Les universités de Bretagne Sud et de Bretagne Occidentale se sont dotées de plateformes dédiées à l'industrie 4.0 pour accompagner les industries vers une transition numérique. La plateforme de l'université de Bretagne Sud est généraliste puisqu'elle étudie une industrie 4.0 dans son ensemble, c'est-à-dire de l'étude de la place de l'humain dans cet environnement jusqu'à l'étude des fonctionnalités d'une usine digitale et virtuelle. La plateforme de l'université de Bretagne Occidentale se focalise principalement sur l'étude de la cybersécurité dans ces environnements.

Ces deux plateformes collaborent étroitement afin de fournir, aux industriels, un environnement de tests qui permet de lier un modèle virtuel à des composants réels. De telles plateformes ont pour but de pouvoir être utilisées à chaque changement opéré au sein d'une industrie 4.0, c'est-à-dire de sa conception et lors de l'ajout de nouveaux composants cyber-physiques.

## Références

- [1] M. Mohamed, Challenges and Benefits of Industry 4.0: An overview, in International Journal of Supply and Operations Management, 2018.
- [2] C. Esposito, A. Castiglione, B. Martini, K-K R. ChooCloud, Manufacturing: Security, Privacy, and Forensic Concerns, in IEEE Cloud Computing, 2016.
- [3] M. Hermann, T. Pentek, B. Otto, Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2016.
- [4] L. Monostori, B. Kádár, T. Bauernhansl, S. Kondoh, S. Kumara, G. Reinhart, O. Sauer, G. Schuh, W. Sihn, K. Ueda, Cyber-physical systems in manufacturing, in CIRP Annals, 2016.
- [5] J. Z. Reis, R. F. Gonçalves, The Role of Internet of Services (IoS) on Industry 4.0 Through the Service Oriented Architecture (SOA), in IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems, 2018.
- [6] J. Lee, Smart Factory Systems, Informatik Spektrum, 2015.
- [7] S. Vaidya, P. Ambad, S. Bhosle, Industry 4.0 – A Glimpse, 2nd International Conference on Materials, Manufacturing and Design Engineering (iCMMD2017), 2017.