



HAL
open science

Le Jumeau Numérique dans le monde manufacturier

Dimitri Renard, Ramla Saddem, David Annebicque, Bernard Riera

► **To cite this version:**

Dimitri Renard, Ramla Saddem, David Annebicque, Bernard Riera. Le Jumeau Numérique dans le monde manufacturier. Congrès annuel de la SAGIP, 2023, Marseille, France. hal-04177887

HAL Id: hal-04177887

<https://hal.science/hal-04177887>

Submitted on 15 Apr 2024

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.



Titre : Le Jumeau Numérique dans le monde manufacturier

Dimitri Renard^{1,2}, Ramla Saddem², David Annebicque², Bernard Riera²

¹ PROSYST, Valenciennes, France

² CReSTIC, Université Reims Champagne-Ardenne, Reims, France

dimitri.renard@univ-reims.fr

Mots clés : *Jumeau numérique, Industrie 4.0, Services, Projet*

1 Introduction

L'évolution de l'industrie ces dernières années, vers l'industrie 4.0 avec l'ensemble des technologies qui l'accompagne est un défi pour le monde industriel. Le jumeau numérique (JN) est l'un des concept-phares des technologies de l'industrie du futur. Cependant, la notion de JN étant récente avec l'introduction du concept par Grieves [2] en 2002 dans son université ainsi que les premiers articles au début des années 2010 en lien avec l'apparition de l'industrie 4.0. Il n'existe jusqu'alors pas de définition générale et unanime du JN. Néanmoins, la notion est de plus en plus claire grâce aux travaux de la communauté qui travaille sur le sujet. Le JN est souvent confondu avec d'autres technologies telles que la simulation ou la visualisation. Ce papier a pour but de faire un état de l'art de ce qu'est le JN dans une vision manufacturière afin de faciliter la mise en place des projets de JN et ainsi réaliser de plus grands gains.

2 Etat de l'art

2.1 Les bases de la notion de jumeau numérique

La base du concept de JN est présente dans les deux définitions suivantes, celle de Grieves [2], et celle de Glaessgen et Stargel [1]. Le JN est, dès ses premières définitions, le miroir de son jumeau réel. La complexité de mise en œuvre de cette technologie, sa jeunesse et ses perceptives promises ont fait promouvoir une image déformée ou incomplète de la réelle technologie qu'est le JN. Une définition plus récente du JN est donnée par Tao et al. en 2018 [9]. Elle reprend celle de Grieve [2] en ajoutant clairement les notions de data et de service. Afin de caractériser le JN, Jones et al. ont fait une synthèse des travaux et ont fait ressortir 12 thèmes qui décrivent et caractérisent le JN [5]. De nombreuses autres synthèses sur le JN ont été réalisées ces dernières années éclaircissant de plus en plus cette notion complexe.

2.2 Des définitions pour chaque domaine

Le JN étant une technologie utilisable dans des domaines divers et variés, des définitions plus spécifiques à des domaines d'activité sont proposées comme celles orientées sur le cycle de vie produit telle que la définition de Stark et al. en 2014 [8] ou celle orientée sur l'industrie manufacturière telle que la définition de Negrie et al. en 2017 [7]. Ces définitions permettent dans chaque domaine de mieux comprendre les possibilités du JN ainsi que la manière de l'implémenter dans son activité. Cependant, elles ont aussi pour conséquence de faire diverger la compréhension du JN en limitant ses possibilités à celles possibles dans leur domaine.

2.3 Définition et niveau d'intégration du fil numérique

Afin de mieux comprendre le JN et de lui associer des fonctionnalités, des cas d'usages, des technologies, une décomposition en sous-catégories suivant son niveau de connexion automatisée entre le réel et le virtuel a été proposée par Kritzinger et al. en 2018 [6]. Cette communication entre le réel et le virtuel est nommée « fil numérique ». Les trois sous-catégories proposées sont le « modèle numérique » où la communication est complètement manuelle, « l'ombre numérique » où la communication monodirectionnelle entre le réel et le virtuel est automatisée, et le « jumeau numérique » où le niveau de communication est bidirectionnel entre le réel et le virtuel. Cette décomposition fait actuellement débat au vu des avancés de la recherche sur le JN [3].

3 Composition du jumeau numérique

1. Une agrégation de technologie

Le JN est une agrégation de technologies mise en forme afin d'arriver à répondre à des besoins complexes tout au long du cycle de vie d'un système de production ou d'un produit. La simulation est souvent confondue avec le JN. Cependant, la simulation n'est qu'une technologie implémentable dans un service du JN. La simulation ne démarre pas avec un état initial prédéfini, mais avec les données actuelles et réelles du système physique. Les résultats obtenus par le service de simulation du JN peuvent être qualifiés de théoriques ou réalistes a contrario d'une simulation dont les résultats sont uniquement théoriques.

3.1 Composition du jumeau numérique

Le JN se compose de trois grandes parties : la partie physique réelle ou considérée comme réelle, la partie virtuelle et de la partie services. La partie physique réelle et virtuelle sont liées par le fil numérique. Les services du JN ont une fonction interrogative et prédictive sur le jumeau réel. Ils permettent de comprendre ce qui se passe ou ce qui s'est passé mais aussi de prédire les comportements futurs. La diversité de services possibles rend le JN accessible par tous les acteurs en lien avec le système. Dans un cadre manufacturier, les services du JN peuvent autant servir aux opérateurs qu'au directeur d'usine pour prendre des décisions et ainsi améliorer les indices de performance d'une ligne de production. Le JN offre des gains en donnant une omniscience à ses utilisateurs rendant les opérations moins coûteuses car plus efficace. Il offre aussi des gains matériels en apportant de la maintenance prédictive, la possibilité de simuler certaines mesures ou d'augmenter les performances du système. En d'autres termes, le JN offre un accès facile à une information enrichie à tous ses utilisateurs supprimant de nombreux coûts humains et matériels. Cette décomposition fonctionnelle du JN peut s'appliquer dans tous les domaines où il s'implémente tel que le manufacturier, le médical, le bâtiment... Elle permet ainsi d'avoir une meilleure vision du concept ainsi que de sa scalabilité en fonction des besoins. En ce qui concerne les technologies implémentées dans le JN, elles ne sont pas communes et évolues très rapidement. L'utilisation de standard ouvert facilite l'implémentation et donne plus de garantie sur son évolution dans le temps.

4 Mise en œuvre d'un projet de JN

4.1 Décomposition du jumeau numérique

Afin de mettre en œuvre la technologie du JN, il est recommandé par le groupe de travail ISO/TC 184 d'avoir une approche qualité sur le projet. La norme ISO 23247 [4] issu de ce groupe de travail essaye d'apporter une standardisation au JN dans une vision manufacturière. La décomposition du JN en plusieurs sous-projets permet une gestion de projets plus facile à mettre en œuvre, des résultats plus rapides ainsi que de l'expérience pour les nouveaux projets de JN. La définition claire du besoin

est aussi primordiale dans la mise en œuvre d'un projet de JN afin de pouvoir mesurer des résultats à la fin du projet.

4.2 Définition de l'architecture

En fonction du besoin, l'architecture et les technologies utilisées dans les différentes parties du JN seront différentes. La partie réelle peut être un système que l'on possède ou que l'on vend. La partie virtuelle peut être en local ou sur le cloud du fournisseur. Les services peuvent être faits en local, à distance, par une entreprise ou par le fournisseur. La construction de l'architecture du JN après la définition du besoin est un point des plus important dans l'implémentation de cette technologie. L'architecture va montrer les liens entre le monde de l'exploitation et de l'information. Ces deux mondes ne sont pas opposés mais ont des cultures différentes ce qui peut provoquer des blocages et des incompréhensions lors du projet de JN. Des médiateurs connaissant les aspects des deux mondes doivent être impliqués afin de les faire communiquer et en tirer le meilleur parti. L'utilisation de frameworks est une base solide afin de faire communiquer les différents acteurs et ainsi définir une architecture saine pour le JN.

5 Résumé et Conclusion

Le JN est une technologie de l'industrie 4.0 récente et pleine de potentiel pour le monde manufacturier. La notion étant complexe et récente, il n'existe pas encore de définition générale et unanime du JN. Cependant des traits caractéristiques semblent ressortir dans les nombreuses publications sur le sujet. Le JN regroupe les technologies pour répondre à de nouveaux besoins avec des complexités pouvant être très fortes. Cette technologie nécessite les compétences tant sur le plan de l'exploitation que de l'information nécessitant des médiateurs entre ces deux mondes. Il est conseillé d'avoir une approche qualité lors de la mise en œuvre d'un projet de JN afin d'avoir des mesures sur les résultats obtenus. La maturité du JN implique encore une vision de recherche et développement. Dans ce papier, nous avons présenté une synthèse sur le JN reprenant en partie la bibliographie de ces dernières années qui tente d'éclaircir et de formaliser cette notion complexe.

6 Références

- [1] GLAESSGEN, Edward et STARGEL, David, 2012a. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. In: *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference
20th AIAA/ASME/AHS Adaptive Structures Conference
14th AIAA*. [en ligne]. Honolulu, Hawaii: American Institute of Aeronautics and Astronautics. 23 avril 2012. [Consulté le 16 janvier 2023]. ISBN 978-1-60086-937-2. DOI 10.2514/6.2012-1818.
- [2] GRIEVES, Michael, 2014b. *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*. . 2014.
- [3] GRIEVES, Michael, 2023c. Digital Model, Digital Shadow, and Digital Twin. [en ligne]. 6 avril 2023. [Consulté le 7 avril 2023]. Disponible à l'adresse: <https://www.linkedin.com/pulse/digital-model-shadow-twin-michael-griev>
- [4] ISO, 2021d. ISO 23247-1:2021, Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles. [en ligne]. 2021. [Consulté le 27 février 2023]. Disponible à l'adresse: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:23247:-1:ed-1:v1:en>
- [5] JONES, David, SNIDER, Chris, NASSEHI, Aydin, YON, Jason et HICKS, Ben, 2020e. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 1 mai 2020. Vol. 29, pp. 36-52. DOI 10.1016/j.cirpj.2020.02.002.
- [6] KRITZINGER, Werner, KARNER, Matthias, TRAAR, Georg, HENJES, Jan et SIHN, Wilfried, 2018f. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*. 2018. Vol. 51, no. 11, pp. 1016-1022. DOI 10.1016/j.ifacol.2018.08.474.
- [7] NEGRI, Elisa, FUMAGALLI, Luca et MACCHI, Marco, 2017g. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 11, pp. 939-948. DOI 10.1016/j.promfg.2017.07.198.
- [8] STARK, Rainer et DAMERAU, Thomas, 2019h. Digital Twin. In: CHATTI, Sami et TOLIO, Tullio (éd.), *CIRP Encyclopedia of Production Engineering*. [en ligne]. Berlin, Heidelberg: Springer. pp. 1-8. [Consulté le 26 janvier 2023]. ISBN 978-3-642-35950-7.
- [9] TAO, Fei, XIAO, Bin, QI, Qinglin, CHENG, Jiangfeng et JI, Ping, 2022i. Digital twin modeling. *Journal of Manufacturing Systems*. juillet 2022. Vol. 64, pp. 372-389. DOI 10.1016/j.jmsy.2022.06.015.