

Source : Siemens

Les jumeaux numériques

Un pivot de plus en plus essentiel de la transformation digitale à l'échelle industrielle

Roberto Kung

Membre Senior SEE
Corédacteur en chef REE

Utilisation des jumeaux numériques

Comme le montrent les articles de ce dossier, les Jumeaux Numériques (JN) couvrent des réalités très variées. De nombreuses définitions du Jumeau Numérique appelé parfois Jumeau Virtuel sont disponibles depuis 2002 (Michael

Grievés¹). Nous pouvons reprendre la définition standardisée de l'ISO/IEC : c'est une représentation numérique d'une *entité cible* avec des connexions de données qui permettent la convergence entre les états physiques et numériques à un taux de synchronisation approprié.

Il faut retenir que le JN est une représentation synchronisée d'une réalité qui

¹ https://www.researchgate.net/publication/306223791_Digital_Twin_Mitigating_Unpredictable_Undesirable_Emergent_Behavior_in_Complex_Systems

peut être un objet physique, un processus, une organisation ou une personne. Cette synchronisation permet de suivre l'évolution de cette réalité, comme par exemple, nous le verrons plus tard dans le dossier, une visseuse, une voiture, la fabrication d'une voiture ou un opérateur humain voire même un réseau. Un JN n'est pas une simple maquette 2D/3D ou un simulateur isolé : il s'agit d'un système numérique dynamique, connecté au réel ou à des données représentatives du réel. Un jumeau numérique permet de simuler des comportements proches de ceux d'un système physique. Il est possible de revenir vers

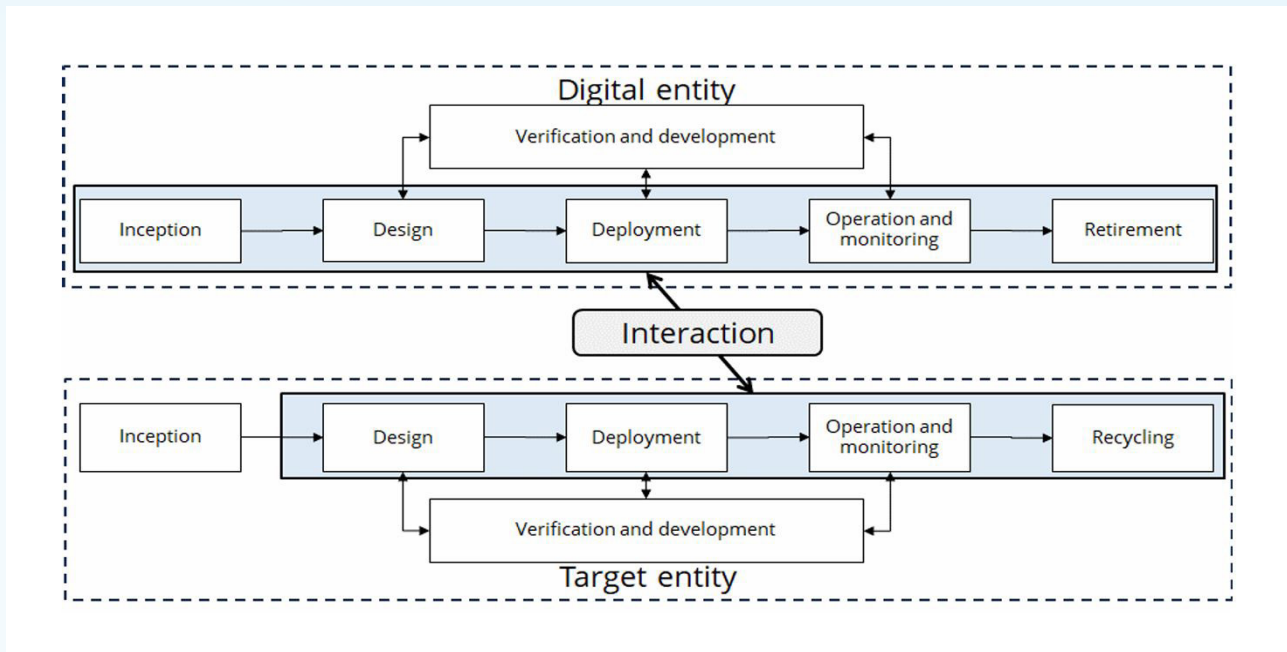


Figure 1 : Le cycle de vie concernant l'entité cible et sa représentation numérique (source AIOTI) ².

le passé du système physique et du JN associé par exemple pour résoudre des problèmes grâce aux données historiques, pour comprendre et pour surveiller l'état en cours, ou pour simuler le futur avec des tests d'évolution du JN.

Les jumeaux numériques ont par ailleurs progressivement trouvé leur place dans le champ de la formation et de l'enseignement supérieur, permettant non seulement l'apprentissage de la manipulation des systèmes dans des situations professionnelles réelles, mais aussi dans des situations limites dans des conditions de sécurité et de coût, inaccessibles auparavant.

Par ailleurs, c'est la grande nouveauté depuis plusieurs années, il est maintenant possible d'agréger de multiples jumeaux numériques pour constituer la représentation d'un véritable univers, un *métavers*. Il ne s'agit pas d'un univers parallèle indépendant, mais plutôt d'un univers virtuel synchronisé avec la réalité. Il est alors possible de suivre l'évolution d'une ou de plusieurs usines globalement, ou d'une ville à l'échelle industrielle. Les puissances actuelles de calcul permettent de constituer des métavers avec plus d'un million de JN.

Le métavers permet de suivre la multiplication des objets numériques notamment avec l'IoT.

Au-delà de l'utilisation opérationnelle des jumeaux numériques et du métavers, les travaux actuels en normalisation montrent que tous les aspects du cycle de vie d'un système peuvent être traités (figure 1) que ce soit la conceptualisation et le design, le déploiement ou la fin de vie. Ce dernier point devient de plus en plus crucial pour diminuer l'empreinte carbone des industries en suivant comment les systèmes sont recyclés. C'est notamment l'objectif de l'initiative DPP4.0 ³ ou *Digital Product Passport for Industry 4.0*.

L'apport des jumeaux numériques

Comme nous le verrons par la suite du dossier, les atouts des jumeaux numériques sont nombreux ⁴ :

- Amélioration de la productivité par exemple en optimisant des processus industriels, et les sources d'approvisionnement ;
- Amélioration de la qualité, par exemple en effectuant les tests sur le jumeau ou le métavers ;
- Amélioration de la résilience par exemple en testant et en anticipant des scénarios de panne ou de menace cyber ;
- Formation facilitée dans de meilleures conditions de sécurité et de coûts ;
- Conception plus rapide de produits mieux adaptés aux besoins par exemple en réinjectant des informations sur l'utilisation et les problèmes des produits ;
- Optimisation de la consommation d'énergie.

Le jumeau numérique associe de nombreuses technologies numériques. En particulier :

- La collecte en temps réel de données, éventuellement avec des capteurs, la synchronisation temps réel selon les

² Présentation 30/1/2025 du AIOTI WG standardisation chair (Antonio Kung)

³ <https://dpp40.eu/>

⁴ Cf article REE 2021-5 de Dassault Systems

●●● besoins de l'application, la représentation de l'objet réel et la standardisation des données.

- L'utilisation des possibilités IT pour exploiter les données et simuler des situations en mode agile (IA et Machine Learning, CAO et 3D, graphe, IoT, Big data, etc.).

Le contenu du dossier

Les domaines d'application des jumeaux numériques sont vastes. Pour ce dossier, nous nous sommes focalisés sur les aspects opérationnels industriels et réseaux ainsi que sur la recherche et la formation. Bien d'autres aspects auraient pu être abordés comme tous les aspects conception ou comme d'autres domaines tels que la santé, l'agriculture, les villes (smart cities), la construction ou le secteur aéronautique...

Le premier article, signé respectivement par **Hervé Labarge** (3dverse) et **Laurent Mismacque, Olivier Riou, Laurent Rémy** et **Yohann Mesmin** (Siemens), montre l'évolution de l'utilisation des jumeaux numériques vers un ensemble constituant le métavers industriel. Cette évolution a été rendue possible par les possibilités croissantes des puissances de calcul. Il est alors possible de passer de l'optimisation d'une fonction simple à l'intégration continue d'un système global. Le métavers se conçoit comme un univers virtuel, immersif, persistant et partagé, accessible via des interfaces 3D ou 2D (AR/VR, visioconférence, etc.) où les avatars des utilisateurs peuvent interagir entre eux et avec des objets virtuels. Cet outil global permet une collaboration optimale entre métiers et tout au long de la chaîne d'approvisionnement.

Le deuxième article se présente sous la forme d'un entretien avec **Eric Marchiol** et **François Lavernos** du Groupe Renault qui aborde le sujet de l'utilisation opérationnelle du métavers, fruit d'une transformation profonde menée depuis plus de dix ans. Le métavers de

Renault compte 1 million de jumeaux numériques ! La technologie des JNs est utilisée dans les grands domaines de l'entreprise : l'ingénierie pour la mise au point d'un véhicule, la finance ou la chaîne d'approvisionnement... L'entretien se focalise sur la partie industrie qui concerne les usines et moyens de production. Pour cela, il a été nécessaire de collecter et surtout de standardiser les données issues des nombreux automatismes industriels et robots. Les gains se mesurent en qualité, en optimisation des émissions de CO₂, en optimisation globale de l'usine.

Le troisième article de **Thierry Coupaye** et **Bertrand Decocq** (Orange) concerne l'utilisation opérationnelle des jumeaux numériques pour le cas spécifique des réseaux, couvrant de multiples cas d'usages autour de l'optimisation des performances et de la résilience. Les cas d'usages couvrent l'ensemble des domaines du réseau (transport, IP, accès fixe et mobile, réseaux cœur...) et toutes les phases du cycle de vie des réseaux (déploiement, exploitation, maintenance...). Sur le plan technique, les jumeaux numériques des réseaux sont généralement basés sur une modélisation de graphe sémantique, plutôt que 3D comme dans bien d'autres domaines.

Le quatrième article provient du milieu universitaire. Coécrit par des **chercheurs de l'INRIA et de 7 autres laboratoires universitaires**, il fait le tour des 'verrous' scientifiques et technologiques associés à l'ingénierie des jumeaux numériques. Il présente en particulier les objectifs du programme national *Engineering Digital Twins* (EDT), qui vise une approche rigoureuse et fiable de leur développement, de leur déploiement et de leur exploitation. L'article est une synthèse de la feuille de route scientifique établie dans le cadre du programme EDT soutenu par France 2030, et porté par l'Agence de programmes Numérique de l'Inria.

Enfin, le dernier article de **l'ENSAM**, montre que les nouvelles technologies transforment les pratiques industrielles ainsi que les pratiques de formation. Parmi ces technologies, les jumeaux numériques occupent une position centrale dans l'industrie dite du futur, et ils ont progressivement trouvé leur place dans la formation et de l'enseignement supérieur, avec le concept de JN d'enseignement ou JNE, déclinaison pédagogique du JN industriel. Le projet JENII (Jumeaux d'Enseignement Numériques Immersifs et Interactifs), financé par France 2030, a permis de développer et d'expérimenter de nombreux jumeaux numériques d'enseignement. ■

Les articles

Le métavers industriel, quand le cloud industriel réinvente l'exploitation des jumeaux numériques	p. 79
Renault Group, leader du métavers industriel. Depuis plus de 10 ans, le métavers est un pilier de la transformation des usines de l'entreprise	p. 87
Plateformes de jumeaux numériques pour les réseaux de télécommunications	p. 90
La fabrique des jumeaux numériques : verrous scientifiques, technologiques et perspectives du programme EDT	p. 96
JENII : Jumeaux d'Enseignement Numériques Interactifs et Immersifs. Conception, développement et expérimentation	p. 104