

## Jumeau numérique

### Description

Le concept industriel remonte à 2002, lorsque Michael Grieves, de l'Université du Michigan aux États-Unis, propose le terme de « jumeau numérique » pour la création d'un centre de gestion du cycle de vie des produits (*Product Lifecycle Management* « PLM »). Selon le chercheur, un jumeau numérique (*Digital Twin* « DT ») est « un ensemble de constructions d'informations virtuelles qui décrit entièrement un produit manufacturé physique potentiel ou réel, du niveau microatomique au niveau macro géométrique. De manière optimale, toute information qui pourrait être obtenue lors de l'inspection d'un produit manufacturé physique peut être obtenue à partir de son jumeau numérique ». Michael Grieves précise également qu'un jumeau numérique « repose sur l'idée qu'une construction informationnelle numérique sur un système physique pourrait être créée comme une entité à part entière. Cette information numérique serait un jumeau de l'information intégrée au système physique lui-même et serait liée à ce système physique tout au long du cycle de vie du système ».

Cette technique vise à unifier à la fois un produit ou un lieu physique dans un espace réel, son jumeau numérique dans un espace virtuel et l'ensemble des informations qui relient les deux. Le produit physique, ou encore le lieu, comme une usine, envoie des flux d'informations provenant de capteurs, de senseurs et de dispositifs électroniques qui mettent à jour le jumeau numérique, ouvrant ainsi la voie à de nombreux services innovants notamment basés sur la simulation. Le jumeau numérique est indissociable de son modèle dans la réalité explique Éric Martin, directeur de l'école nationale supérieure d'ingénieurs de Bretagne Sud (Ensibs), à Lorient, où une chaire y est consacrée depuis octobre 2018 : il permet de « suivre en temps réel les transformations de l'objet ou du processus spécifique auquel il est attaché, de sa conception jusqu'à sa destruction », ainsi que de simuler et de réaliser des tests, en tant que miroir informationnel du produit ou du lieu physique dont il est la copie.

Si la simulation, d'abord analogique puis numérique, est imposée dans des domaines aussi variés que l'aéronautique, l'industrie automobile ou encore le nucléaire, elle prend un sens nouveau avec l'accroissement combiné des performances et de la miniaturisation du matériel informatique ainsi que de la rapidité des réseaux de télécommunications. Pour Bernard Charlier, PDG de Dassault Systèmes, « la simulation est prendre de la manière la plus holistique possible. C'est la représentation, dans le temps et l'espace d'un comportement, de quelque chose qui évolue dans son environnement ».

Comme pour bon nombre d'innovations, d'importantes contraintes techniques ont souvent rendu

trop complexe ou coûteuse leur réalisation au moment où<sup>1</sup> un chercheur les a imaginées. La nature même du jumeau numérique repose sur des techniques de transmission d'information ultra haut débit, comme la fibre optique ou la 5G et dans dix ans les réseaux 6G. Les grandes entreprises n'attendent pas l'arrivée de ces futurs réseaux, cinquante fois plus rapides que la 5G, pour s'emparer de la technique du jumeau numérique et mettre en œuvre certaines applications ou services qui seront pleinement opérationnels dans quelques années. Le cabinet Gartner prévoit ainsi que *« deux tiers des entreprises ayant une stratégie dans l'internet des objets vont exploiter, d'ici 2022, les technologies de jumeau numérique »*.

### Des applications variées

Optimiser la production des voitures, des avions ou des sous-marins, ainsi que leur maintenance ; faire baisser les coûts d'exploitation des puits de pétrole ; améliorer l'endurance des villes face aux inondations ; reproduire une intervention chirurgicale ou tester une opération avant de la réaliser sur un patient : des entreprises et des institutions de tout secteur investissent depuis plusieurs années en ce sens.

### Dans les usines

Le constructeur automobile Renault, accompagné de la start-up Cosmo Tech, travaille depuis 2017 sur la numérisation des flux, des processus métiers, de l'infrastructure de production, mais aussi des ressources humaines et financières de l'entreprise. Michel Morvan, mathématicien et cofondateur de Cosmo Tech explique ainsi que *« les industriels collectent de nombreuses informations que nous pouvons organiser pour leur offrir une représentation de leur processus de production. Mais étudier les données du passé pour connaître l'état d'un système n'est pas suffisant, l'industriel doit pouvoir interroger le système sur ses états futurs »*. Des simulations numériques, basées sur des algorithmes d'optimisation des scénarios, sont effectuées sur un jumeau numérique et permettent dorénavant au constructeur automobile d'avoir une vision tridimensionnelle de ses lignes de production et de sa chaîne logistique. *« Avant, il fallait des jours à nos équipes pour entrer les données dans Excel, faire des calculs et trouver la meilleure programmation de production possible, un travail pas forcément reproductible, »* explique Aimé-Frédéric Rosenzweig, expert supply chain chez Renault. *« Grâce à Cosmo Tech, notre réseau est modélisé. Dès qu'une variable change, on peut facilement recalculer l'optimum. Quand le processus de planification des ventes et des opérations donne une nouvelle orientation, nous faisons évoluer le jumeau numérique pour retrouver au plus vite le meilleur scénario de production. Et tous les mois, nous l'adaptions selon l'écart observé entre les prévisions de la demande client et la réalité »*.

Les constructeurs aéronautiques, les avionneurs et les motoristes ont été les premiers à s'intéresser au jumeau numérique, notamment dans le cadre de l'optimisation de la maintenance des pièces et des appareils. Dassault Aviation et la direction de la maintenance

l'aéronautique du ministère des armées ont développé un jumeau numérique de l'ensemble des équipements de chacun des 152 avions Rafale de l'Armée de l'air et de la Marine nationale pour optimiser leur maintien permanent en condition opérationnelle. Chaque appareil, doté d'une multitude de capteurs, dispose d'un jumeau numérique permettant ainsi, en se basant sur les données d'exploitation, de prédire l'usure de pièces et d'éventuelles avaries en intervenant en amont, réduisant considérablement les délais de maintenance.

## En médecine

«Prédire plutôt que guérir» ou «prédire pour mieux guérir», tels sont les objectifs affichés avec les jumeaux numériques, parfois appelés «jumeaux médicaux», appliqués au domaine de la santé et la médecine prédictive. Ils trouvent des applications pratiques dans les domaines des interventions chirurgicales, des interactions médicamenteuses, mais aussi de la recherche, notamment avec l'optimisation des phases de développement des traitements. Aux essais *in vivo*, effectués dans le corps humain et ceux *in vitro*, réalisés sous verre en laboratoire, s'ajoutent dorénavant les essais *in silico*, réalisés à partir d'un jumeau numérique.

Si un patient nécessite une prothèse, la société française Anatoscope, créée en 2015, propose «la construction d'un jumeau numérique du patient, qui permet de simuler et de calculer précisément l'angle et la forme qu'il faudra donner à sa prothèse» explique son président, François Faure. Selon ce dernier, un jumeau numérique devient «une visualisation animable, déformable et repositionnable de la personne à partir de son imagerie, qui prend en compte les lois de la biomécanique». Nina Miolane, chercheuse à l'Inria et à l'université de Stanford est tout aussi convaincue de l'intérêt du jumeau numérique en médecine. «Lorsque l'on doit construire une endoprothèse à placer sur l'aorte pour éviter un risque d'accident vasculaire, avant, il fallait trois semaines pour construire l'outil. D'ormais, avec une simulation numérique qui permet de l'adapter précisément au patient, une entreprise comme Predisurge peut le fournir en deux jours.»

Un jumeau numérique peut fournir au médecin de précieuses informations avant d'opérer. C'est le cas du logiciel de simulation développé par Optimo Medical, entreprise suisse créée en octobre 2015. Selon son fondateur, Harald Studer, «Optimeyes<sup>TM</sup> crée un jumeau numérique de la cornée du patient à partir des données de mesure. Le logiciel effectue une kératotomie virtuelle en arc, afin de trouver les paramètres d'incision optimaux et personnalisés pour chaque patient et ainsi corriger l'astigmatisme pendant l'opération de la cataracte».

En décembre 2020, Siemens Healthineers, entreprise allemande spécialisée dans le matériel médical, a développé avec le centre hospitalier universitaire de Bordeaux, un jumeau numérique du cœur. L'opération a consisté à «simuler la réaction du cœur réel du patient à une procédure de resynchronisation cardiaque, sur le modèle numérique de ce même organe». Dans

un premier temps, l'ensemble des données morphologiques et fonctionnelles du patient ont été recueillies par imagerie par résonance magnétique (IRM), échographie, électrocardiogramme et par des prélèvements biologiques, afin de nourrir de données le jumeau numérique, réponse du corps du patient la plus exacte possible.

### Des idées futuristes devenues réalité

Le développement des usages d'un jumeau numérique repose en grande partie sur la très haute connectivité entre le produit ou le lieu physique et son double virtuel. Promptes à promouvoir la création de nouveaux débouchés, les entreprises de télécommunications Samsung, Ericsson et Nokia ont chacune publié un livre blanc sur les applications de la future 6G, dans lequel elles inventent des nouveaux usages du jumeau numérique rendus possibles par l'ultra haut débit. Selon Samsung, « dans un environnement 6G, grâce aux jumeaux numériques, les utilisateurs pourront explorer et surveiller ce qui se passe dans le réel dans un monde virtuel, sans contraintes temporelles ou spatiales. Les utilisateurs pourront observer les changements ou détecter les problèmes à distance grâce à la représentation offerte par les jumeaux numériques ». Anticipant les potentialités offertes par des débits de l'ordre de mille gigabits par seconde, permettant d'obtenir des images en terapixel, le constructeur imagine même que « les utilisateurs pourront [!] interagir réellement avec les jumeaux numériques, en utilisant des dispositifs de réalité virtuelle ou des affichages holographiques. Un jumeau numérique pourrait être une représentation d'un ensemble de capteurs et d'actionneurs télécommandés. De cette manière, l'interaction d'un utilisateur avec un jumeau numérique peut se traduire par des actions dans le monde physique. Par exemple, un utilisateur pourrait se déplacer physiquement dans un site distant dot d'un jumeau numérique en contrôlant en temps réel un robot présent dans cet espace ».

En décembre 2020, l'Union européenne a lancé le projet Hexa-X afin d'amorcer le développement des réseaux 6G dont les premières mises en service sont attendues pour 2030. Hexa-X est porté par Nokia et Ericsson, accompagnés de vingt-cinq partenaires parmi lesquels le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), Siemens, Orange et Telefonica et également le fabricant américain de puces Intel.

De son côté, Ericsson anticipe les opportunités de services qu'offriront les réseaux de nouvelle génération, en préfigurant un « monde numérique et programmable » capable de fournir « des représentations complètes du monde physique ». Déployés à grande échelle, les jumeaux numériques « pourraient conduire des milliards de capteurs et d'actionneurs intelligents représentés dans des cartes numériques et interactives en 4D de villes entières, qui seraient placées en position et en temps et auxquelles un grand nombre d'humains et de machines intelligentes pourraient accéder et modifier simultanément pour planifier en détail leurs activités. Ces plateformes de services cyber-physiques pourraient transmettre des commandes des systèmes manuvrables, comme les transports publics, le traitement des déchets ou les systèmes de gestion de l'eau et du chauffage ».

La frontière entre le réel et le virtuel se fait de plus en plus transparente lorsqu'il devient possible d'enclencher des actions précises dans un espace réel en agissant à distance depuis un espace virtuel, grâce à toutes pièces, jumeau du premier. C'est la question de savoir jusqu'où cette hybridation entre réel et virtuel nous mènera, l'ambition d'clarifier de certains grands industriels apporte déjà une réponse. Le groupe Dassault, qui a diversifié ses activités dans le secteur de la santé, notamment avec le rachat de l'américain Medidata Solutions Inc pour 5,8 milliards de dollars en 2019, affiche haut et clair, par la voix de son président, un objectif singulier : « Notre ambition est de créer le jumeau numérique de l'être humain ».

L'Europe n'est pas en reste puisqu'elle a lancé en 2019 l'initiative « Destination Earth (DestinE) », dont l'objectif est de développer un jumeau numérique de la Terre, afin de « surveiller l'activité naturelle et humaine, et pour développer et tester des scénarios qui permettraient un développement plus durable et soutiendraient les politiques environnementales européennes ». L'Agence spatiale européenne (ESA), le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET) et l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT) sont partenaires de ce projet lancé en 2021 pour les dix prochaines années, comprenant la mise en œuvre d'une plateforme centrale à laquelle seront rattachés deux premiers jumeaux numériques dès 2023. La plateforme DestinE permettra notamment « d'étudier les effets du changement climatique, l'état des océans, la cryosphère, la biodiversité, ou encore l'utilisation des terres et des ressources naturelles ».

Sources :

- « Digital Twin : Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems (Excerpt) », Dr. Michael Grieves and John Vickers, August 2017.
- « Comment les jumeaux numériques bouleversent la santé » Mathilde Saliou, numerama.com, 1<sup>er</sup> janvier 2019.
- « Le « jumeau numérique », une révolution viable du monde de la santé ? », Holo-se de Thomasson, latribune.fr, 19 juillet 2019.
- « Le jumeau numérique donne vie à l'industrie 4.0 », Floriane Leclerc, usinenouvelle.com, 22

---

avril 2020.

- « Il faut une vision holistique de la simulation », prône Bernard Charlier, PDG de Dassault Systèmes », Julien Bergounhox, Marion Garreau, Manuel Moragues, industrie-techno.com, 23 avril 2020.
- « Les nouvelles frontières de la simulation », Julien Bergounhox, Marion Garreau, Manuel Moragues, industrie-techno.com, 23 avril 2020.
- « De l'industrie à la santé, les jumeaux numériques offrent de nombreuses perspectives », ARIAS magazine, siemens-healthineers.com, 3 décembre 2020.
- « Nokia to lead the EU's 6G project Hexa-X », Nokia, Nokia.com, december 7, 2020.
- « Hexa-X : un projet de recherche européen sur la 6G, mené par Nokia », Mathieu Chartier, lesnumeriques.com, 9 décembre 2020.
- « L'Europe donne le coup d'envoi de la 6G », Raphaël Balenieri, *Les Echos*, 6 janvier 2021.
- « Destination Earth (DestinE) », European Commission, Shaping Europe's digital future, ec.europa.eu.
- Hexa-X, hexa-x.eu/about.

## Categorie

1. A retenir

**date création**

6 mai 2021

**Auteur**

jacquesandrefines