



Comment des jumeaux numériques permettent de résoudre des problèmes concrets

D'une navette spatiale paralysée aux rues de la ville, les technologies qui reproduisent le monde physique redéfinissent notre façon de construire, de se déplacer et de planifier.

En avril 1970, un réservoir à oxygène a explosé à bord d'Apollo 13, à environ 330 000 kilomètres de la Terre. Les ingénieurs de la NASA sur Terre n'avaient aucun moyen d'atteindre physiquement la navette spatiale. Ils pouvaient toutefois transmettre les données télémétriques reçues en temps réel de la navette dans un parc de simulateurs à Houston, reconfigurer ces modèles pour reproduire les dommages subis et mettre à l'essai des stratégies de survie avant de communiquer des instructions à l'équipage. La solution élaborée a fonctionné et les astronautes ont pu rentrer à la maison. Bien que personne ne l'ait appelé ainsi à cette époque, le centre de contrôle venait de démontrer le principe fondamental de ce qui allait plus tard être connu sous le nom de « jumeau numérique ».

Le Dr Michael Grieves a officialisé le concept à l'Université du Michigan en 2002, et John Vickers, de la NASA, a inventé le terme en 2010¹. Cependant, le principe sous-jacent était déjà clair : construire une réplique virtuelle d'un objet physique, la maintenir synchronisée avec des données réelles, et l'utiliser pour explorer des questions qu'il serait dangereux ou coûteux de tester sur l'objet réel.

De réplique à oracle (qu'est-ce qu'un jumeau numérique)

Un jumeau numérique diffère d'une simulation ordinaire sur un point essentiel : il est continuellement mis à jour. Une simulation modélise ce qui a été conçu, tandis qu'un jumeau reflète ce qui existe à l'instant. Il suffit de l'alimenter avec les données des capteurs d'un moteur à réaction, d'une éolienne ou d'un système de ventilation d'hôpital pour qu'il devienne un modèle dynamique capable de signaler une défaillance imminente, de tester un changement de configuration ou de prévoir la demande trois heures à l'avance. Cette distinction fait évoluer le processus décisionnel, passant de l'analyse rétrospective à l'anticipation en temps réel.



McKinsey estime que 70 % des cadres responsables de la technologie au sein des grandes entreprises étudient les jumeaux numériques ou investissent dans ceux-ci, et que cette technologie peut améliorer l'efficacité des infrastructures du secteur public jusqu'à 30 %. Le marché mondial, évalué à environ 36 milliards de dollars américains en 2025, devrait dépasser les 329 milliards de dollars d'ici 2033, avec un taux de croissance annuel composé de 31 %³.

La révolution des capteurs qui a rendu tout cela possible

La NASA a pu jumeler une navette spatiale, car elle disposait d'un centre de contrôle dédié. Pour transposer ce concept à une usine, à un réseau électrique ou à une ville, il fallait quelque chose qui n'existait pas en 1970 : une multitude de capteurs bon marché reliés à un réseau. Cette infrastructure est apparue avec l'internet des objets (IdO). On compte aujourd'hui plus de 21 milliards d'appareils connectés à l'IdO dans le monde, un chiffre qui augmente d'environ 14 % par an et qui devrait atteindre 39 milliards d'ici 2030⁴. Chaque appareil (qu'il s'agisse d'un manomètre sur une canalisation, d'un magnétomètre intégré à la chaussée ou d'une caméra installée à un carrefour) génère des données télémétriques en continu qui alimentent un jumeau numérique.

Mise en application actuelle des jumeaux

Le champ d'application des jumeaux numériques est très vaste. Dans le secteur de l'énergie, Siemens Energy a créé des jumeaux numériques de composantes de turbines à gaz à l'aide de réseaux neuronaux sur la plateforme Omniverse de NVIDIA, accélérant ainsi de 10 000 fois⁵ la simulation des actifs du réseau électrique et permettant une maintenance prédictive qui pourrait faire économiser 1,7 milliard de dollars par année aux fournisseurs d'énergie⁶. SP Group, l'opérateur national du réseau de Singapour, teste actuellement un jumeau numérique qui modélise en temps réel les conditions de l'ensemble du réseau électrique, une initiative indispensable alors que le pays vise à multiplier par dix sa part d'énergies renouvelables d'ici 2035⁷.

Dans le secteur de la production, une réplique numérique complète de l'usine BMW de Regensburg existe au sein de la plateforme Omniverse de NVIDIA. Les ingénieurs peuvent y optimiser l'emplacement des robots et mettre à l'essai les nouveaux modèles de voitures sur une chaîne de montage virtuelle sans interrompre la production. Helsinki utilise un jumeau à l'échelle de la ville pour modéliser l'incidence du remplacement des systèmes de chauffage dans certains quartiers sur les émissions de CO₂ et son objectif de carboneutralité en 2030. Le jumeau de Rotterdam simule les ondes de tempête afin de prendre des décisions proactives concernant l'exploitation des écluses et des barrages. Dans le secteur des soins de santé, 66 % des dirigeants s'attendent à une hausse des investissements dans les jumeaux numériques au cours des trois prochaines années, avec des applications allant de la modélisation des activités hospitalières à l'essai virtuel des médicaments, en passant par la planification des opérations chirurgicales⁸.

Ces cas présentent tous un élément commun : un actif ou un système jugé trop complexe, trop coûteux ou trop dangereux pour faire l'objet d'expérimentations directes qui se voit attribuer une version virtuelle alimentée par des données en temps réel. Le jumeau absorbe alors le risque lié aux essais et aux erreurs.

Miovision et l'intersection instrumentée

La circulation urbaine est un exemple particulièrement parlant de mise en application de cette technologie. En Ontario, le coût économique et social des embouteillages a été estimé à 56,4 milliards de dollars canadiens en 2024, et devrait avoisiner les 108 milliards de dollars canadiens d'ici 2044⁹. La logique du jumeau numérique (percevoir, modéliser, anticiper, agir) appliquée au carrefours permet aux ingénieurs de la circulation de voir comment les feux de signalisation, les véhicules, les cyclistes et les piétons se comportent réellement, plutôt que de se fier uniquement à un plan de synchronisation.

Pour découvrir un exemple canadien de cette approche déployée à l'échelle mondiale, écoutez l'épisode de la série Les innovateurs RBC consacré à Miovision, une entreprise établie à Kitchener dont la plateforme de capteurs et d'analyse est actuellement utilisée sur plus de 170 000 intersections routières dans 68 pays. Les travaux de Miovision illustrent parfaitement comment les principes de jumeau numérique, issus de l'aérospatiale et de l'industrie lourde, peuvent être transposés aux réseaux routiers urbains. Ils démontrent aussi comment une jeune entreprise canadienne peut redéfinir son domaine en exploitant un élément aussi banal qu'un feu de signalisation.



Points à surveiller à mesure que la technologie évolue

1. La convergence des jumeaux numériques et de l'IA générative. Les pratiques opérationnelles de McKinsey font état d'une évolution des jumeaux : d'abord chargés de surveiller et de prévoir, ils sont désormais capables de formuler des recommandations et, de plus en plus, d'agir de manière autonome.

2. L'émergence d'écosystèmes jumeaux. Par exemple, le jumeau numérique d'une usine échangeant des données avec les jumeaux des composantes fournies et le jumeau du réseau électrique qui l'alimente. L'interopérabilité, les modèles communs de données, les interfaces partagées et les pistes d'audit certifiées détermineront quelles plateformes créeront de la valeur à long terme.

La logique d'ensemble est bien connue des ingénieurs de la NASA. Quand il est impossible d'accéder à un objet physique, ou que toute intervention sans simulation préalable s'avère trop coûteuse, il vaut mieux construire un modèle, le calibrer à l'aide de données réelles et le laisser anticiper les mesures à prendre. La technologie a dépassé le cadre de l'aérospatiale, mais le principe n'a pas changé.

Rédigé par Sabreena Shukul, adjointe à la recherche, Leadership avisé RBC

Références

¹NASA Technical Reports Server, « Digital Twins and Living Models at NASA », 2021 ; Wikipédia, « Jumeau numérique ».

²McKinsey & Company, « What is digital-twin technology? » août 2024 ; McKinsey, « Digital twins: Boosting ROI of government infrastructure investments », juillet 2025.

³MarketsandMarkets, « Digital Twin Market Size, Share & Growth », 2025 ; <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/digital-twin-market>

⁴IoT Analytics, « Number of connected IoT devices growing 14% to 21.1 billion globally in 2025 », octobre 2025 ; <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices>

⁵À titre de comparaison, 10 000 fois plus rapide que le solveur CFD instationnaire, avec une perte de précision minimale. <https://forums.developer.nvidia.com/t/spotlight-siemens-energy-accelerates-power-grid-asset-simulation-10-000x-using-nvidia-modulus/299515>

⁶<https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/siemens-energy-hrsg>

⁷GovInsider, « Digital twins and virtual power plants paving the way for global energy transition », janvier 2026.

⁸AIMultiple, « 20 Digital Twin Applications/Use Cases by Industry », janvier 2026.

⁹CANCEA, « Impact of Congestion in the GTHA and Ontario », décembre 2024.

