



# Tendances technologiques

## Jumeaux numériques

Architecture d'entreprise, Direction générale du dirigeant principal de la technologie

Version 0.1

Date : 7 décembre 2019



## Table des matières

<b>Sommaire opérationnel</b> .....	<b>3</b>
<b>Sommaire technique</b> .....	<b>3</b>
<b>Utilisation par l'industrie</b> .....	<b>4</b>
<b>Utilisation par le gouvernement du Canada</b> .....	<b>5</b>
<b>Répercussions pour Services partagés Canada</b> .....	<b>5</b>
Proposition de valeur .....	5
Défis .....	7
Considérations .....	9
<b>Références</b> .....	<b>11</b>

## Sommaire opérationnel

Un jumeau numérique peut être défini comme une représentation numérique d'un bien matériel. Cet objet peut comprendre des processus, des personnes, des lieux, des systèmes et des appareils qui peuvent être utilisés pour diverses raisons. Lors de la définition d'un jumeau numérique, le premier point important à noter est la connexion établie entre un modèle physique et son équivalent virtuel. Deuxièmement, avec la progression des appareils d'Internet des Objets (IdO), des données en temps réel sur l'état du modèle physique peuvent être recueillies puis transmises à un modèle numérique lui permettant d'adapter son propre état et de devenir une représentation précise de l'autre, à condition de disposer des fonctionnalités appropriées.

Un jumeau numérique utilisera souvent des technologies telles que l'intelligence artificielle, l'apprentissage machine et l'analyse logicielle. Les données proviennent de sources multiples, notamment des humains, de machines similaires, de grands systèmes, ainsi que de l'environnement dans lequel elles se trouvent. Les jumeaux numériques ont le potentiel de changer complètement certaines industries. Par exemple, lors de la conception d'une architecture de solution intégrée, un jumeau numérique peut intégrer des données provenant de plateformes d'infonuagique ainsi que des applications liées à l'objet. Cela crée une source unique de données et d'analyses pour chaque objet.

Comme les données en temps réel fournies par les capteurs d'IdO sont intégrées par le jumeau numérique, celui-ci offre une variété d'utilisations possibles. Une organisation peut appliquer la technologie à ses produits commercialisables en les transformant en produits connectés où elle peut effectuer la gestion du cycle de vie des produits depuis la phase de conception jusqu'à la prestation du service au client[1]. Les fabricants peuvent également avoir avantage à connecter leurs processus de bout en bout au sein d'une production. Les jumeaux numériques peuvent permettre d'offrir de nouveaux modèles commerciaux de produits en tant que services. Cela permet également à un jumeau numérique de passer d'un modèle de simulation fondée sur les données à un outil de comptabilité et de planification financière. Dans le contexte de l'architecture d'entreprise, un architecte peut créer un projet d'architecture d'entreprise en tant que jumeau numérique pour l'organisation.

## Sommaire technique

Un jumeau numérique peut utiliser une combinaison d'intelligence artificielle (IA) et d'apprentissage machine pour représenter correctement les états actuels et futurs d'un bien matériel. L'élaboration d'un jumeau numérique nécessite un cadre de technologie de l'information et de la communication aux propriétés physiques intégrées ainsi qu'un logiciel pour la visualisation des données. Cela signifie que le jumeau a besoin d'une puissance de traitement des données suffisante pour représenter et visualiser sur un tableau de bord les tendances et analyses. Ces

représentations peuvent porter sur des événements du monde réel ainsi que sur les caractéristiques des objets et des processus[9]. Un jumeau numérique peut être considéré comme un module logiciel ou une série d'ensembles de données qui est logiquement distinct d'une application utilisant le jumeau. L'application peut alors interagir avec le jumeau plutôt qu'avec l'objet réel. Gartner affirme que la pratique idéale pour les applications interagissant avec un jumeau est d'utiliser une interface bien définie[4]. Il peut s'agir d'une interface de programmation d'applications (IPA) fondée sur les événements ou d'une IPA de type requête-réponse. Lorsque des méthodes ou des fonctions d'IPA publique sont invoquées, la logique du jumeau peut alors effectuer une variété d'actions, y compris la réception de données ou la génération d'alertes, ou toute autre fonctionnalité mise en œuvre en fonction des exigences du système. En utilisant une IPA, les données et la logique du jumeau sont encapsulées et dissociées de la logique de l'application, ce qui rend le système relativement indépendant. L'IPA est exposée du côté du jumeau, ce qui permet à l'application d'effectuer des appels vers les modules logiciels de niveau inférieur qui traitent les données du jumeau. Cela signifie maintenant que tant que la sémantique de l'interface est maintenue, le jumeau ou l'application peuvent être modifiés sans que des changements nuisibles se propagent dans le système entier[4]. Cela signifie également qu'un jumeau peut être partagé et accessible par plusieurs applications. Il y a plusieurs avantages à cela, y compris la prévention de la duplication des données, une vue opérationnelle commune de l'état d'un objet et une réduction du nombre de piles de protocoles de communication et de ports réseau nécessaires. Finalement, la sécurité peut être améliorée, car tout le trafic réseau à travers l'objet peut être redirigé par le jumeau fournissant un point unique d'accès.

## Utilisation par l'industrie

Plusieurs organisations ont remarqué les avantages des jumeaux numériques, et les utilisent maintenant pour surveiller leurs biens matériels, la dynamique de leurs opérations et leurs processus opérationnels. General Electric est l'une des plus grandes entreprises qui utilisent actuellement des jumeaux numériques. L'entreprise avait commencé à utiliser les jumeaux pour analyser les données recueillies par les éoliennes, les plateformes pétrolières et les moteurs d'avions qu'elles produisent. Par exemple, en utilisant un jumeau sur un moteur d'avion, le système surveille le moteur et tous ses sous-composants pendant un vol. Un jumeau numérique en temps réel est ensuite généré à partir des données transférées des capteurs dans l'appareil vers le centre de données de l'entreprise[3]. Si un défaut potentiel est détecté, elle peut déterminer avec précision quelle pièce est à l'origine du défaut et en avoir une de remplacement prête une fois que l'avion a atterri. La technologie a également un énorme potentiel médical. Une recherche collaborative entre l'Université Stanford et Hewlett Packard Enterprise appelée « The Living Heart » crée une maquette 3D multi-échelle d'un cœur[11]. De là, la circulation sanguine peut être surveillée et des médicaments peuvent être testés virtuellement. Tout comme son utilisation dans l'entretien des moteurs d'avions, les vendeurs d'automobiles remarquent également le potentiel des

jumeaux numériques. Volkswagen a commencé à utiliser cette technologie pour surveiller son processus de production. Elle a également commencé à utiliser le jumelage numérique en combinaison avec la réalité augmentée, grâce aux HoloLens de Microsoft[10]. Les ingénieurs et les concepteurs peuvent maintenant modifier le jumeau numérique par des gestes et des commandes vocales.

## Utilisation par le gouvernement du Canada

Il y a un manque important d'initiatives et de programmes documentés du gouvernement du Canada (GC) qui font la promotion de l'utilisation actuelle et future de la technologie de jumelage numérique. En tant qu'élément stratégique en TI du GC, la technologie de jumelage numérique est absente du Plan stratégique des opérations numériques du GC de 2018 à 2022, et du Plan stratégique du GC pour la gestion de l'information et la technologie de l'information de 2017 à 2021<sup>1</sup>. La situation peut s'expliquer par le fait que le gouvernement doit actuellement composer avec la mise en œuvre de services infonuagiques et que la majorité des ressources sont ainsi occupées, ainsi que par les questions de sécurité entourant la protection des renseignements des Canadiens.

D'autres entrevues et recherches devront avoir lieu au sein de Services partagés Canada (SPC) et des ministères clients afin de déterminer les capacités actuelles et prévues du gouvernement du Canada en matière de jumelage numérique.

## Répercussions pour Services partagés Canada

### *Proposition de valeur*

L'incidence des jumeaux numériques sur la valeur opérationnelle est d'aider à éclairer la connaissance de la situation de l'écosystème informatique, d'améliorer la gestion des biens du GC, d'améliorer les processus opérationnels et de mener à une meilleure prise de décision stratégique globale en matière d'informatique. La technologie de jumelage numérique consiste à modéliser les objets en une relation individuelle et à faire évoluer la combinaison entre le numérique et le physique d'un environnement à un autre. La technologie de jumelage numérique permet de regrouper les accès. Puisque le jumeau numérique est une passerelle de procuration qui fournit à un objet une adresse IP, il peut clarifier et identifier des objets et actifs précis. C'est extrêmement utile au moment de régler des problèmes d'échelle et de complexité des actifs.

Tout ministère du GC possédant des biens matériels peut bénéficier de l'utilisation de jumeaux numériques. Les biens et le matériel du GC doivent être gérés par les

ministères de manière à appuyer l'efficacité et la rentabilité de l'exécution des programmes gouvernementaux. Les jumeaux numériques peuvent faciliter la gestion des biens d'IdO à travers le pays. Le jumeau numérique est continuellement mis à jour, au moyen des capteurs attachés à l'objet physique, pour refléter l'état actuel de l'objet physique.

Puisque le jumeau numérique est un modèle de l'objet physique réel, les analystes peuvent facilement interagir avec lui pour en suivre l'état, simuler des conditions uniques et effectuer des analyses par simulation pour prévoir les défaillances. Le but principal d'un jumeau numérique est d'agir comme un mandataire pour son original, donc toute application qui a besoin de données de l'objet physique traite directement avec le mandataire. Comme le jumeau numérique est un logiciel, il peut être programmé pour encapsuler les données de manière à ce que des changements puissent être effectués à l'intérieur du jumeau sans incidence sur les applications connectées, et vice versa<sup>ii</sup>. De plus, comme modèle, le jumeau numérique aide les analystes à comprendre, documenter et expliquer le comportement d'une machine particulière ou d'un ensemble de machines sur une période donnée, améliorant ainsi les techniques de gestion des actifs<sup>iii</sup>.

Les jumeaux numériques peuvent améliorer davantage la connaissance de la situation d'une organisation en analysant les données et les renseignements des capteurs d'IdO. L'essor de la technologie de jumelage numérique coïncide avec celui d'IdO, de l'IA et de l'apprentissage machine<sup>iv</sup>. Des progrès et des investissements futurs dans IdO, l'IA et l'apprentissage machine sont attendus, ce qui continue de renforcer l'évolution de la technologie de jumelage numérique. La technologie de jumelage numérique est de plus en plus avantageuse parce qu'elle possède des capacités qui réduisent la complexité des écosystèmes d'IdO en créant des modèles numériques de l'objet physique faciles à utiliser. Bien que les jumeaux numériques varient considérablement dans leurs objectifs et la quantité de données qu'ils contiennent, ils suivent tous le même principe, c'est-à-dire qu'il y a un jumeau par objet physique. Cela réduit la complexité pour les analystes de réseau et améliore leur connaissance de la situation du réseau en ciblant les biens matériels essentiels qui nécessitent une surveillance et une gestion organisationnelles.

Le jumeau numérique peut également être utilisé pour piloter la gestion des processus opérationnels. Un modèle contextualisé peut être créé par un jumeau numérique pour des processus opérationnels ou de travail individuels. Cela permet à une organisation de cibler ses parties qui fournissent directement une valeur d'entreprise. Par exemple, la gestion des risques d'entreprise est un processus complexe mobilisant souvent plusieurs intervenants au sein d'une organisation; un jumeau numérique peut être utilisé pour souligner les dépendances dans divers aspects de ce processus. Un jumeau numérique peut faciliter la responsabilité et la gouvernance et offrir des indicateurs de performance et des objectifs. Cela rend l'ensemble du processus plus visible et plus facile à suivre[6]. En combinant les données du jumeau numérique avec des règles

administratives, des algorithmes d'optimisation ou d'autres technologies d'analyse prescriptives, les jumeaux numériques peuvent soutenir les décisions humaines ou même automatiser la prise de décision.

Enfin, l'amélioration de la connaissance de la situation et de la gestion des biens fournie par les jumeaux numériques peut être utilisée pour aider à prendre de meilleures décisions opérationnelles stratégiques. Il existe trois types de jumeaux numériques de différentes valeurs pour la prise de décision d'entreprise : Simple, Composite et Jumeau numérique d'organisation, également connus sous le nom de Produit, Production, et Rendement<sup>v</sup>. Simple/Produit met l'accent sur la surveillance des objets physiques (biens individuels), Composite/Production met l'accent sur les opérations mobilisant une combinaison de jumeaux numérique Simple/Produits et de ressources (objets, personnes et processus), et Jumeau numérique d'organisation/Rendement met l'accent sur la surveillance des processus à travers l'ensemble des activités opérationnelles (optimisation des processus opérationnels).

## **Défis**

Il y a de nombreuses difficultés auxquelles SPC pourrait être confronté dans l'élaboration et le déploiement de jumeaux numériques en coordination avec les appareils d'IdO. Les difficultés les plus notables sont le temps, l'encadrement, les efforts, les ressources et le financement qui seront nécessaires afin d'établir et de maintenir les jumeaux numériques et un programme robuste d'IdO pour le GC dont le niveau d'interopérabilité sera élevé. Des mesures de planification additionnelles seront également requises en ce qui concerne l'infrastructure de SPC afin de tenir compte des besoins accrus dus au jumelage numérique.

L'un des plus grands défis en ce qui concerne le jumelage numérique est la convergence écrasante des données d'IdO provenant de sources telles que les jumeaux numériques, la conception et les données de processus et de contrôle de qualité, avec les données existantes provenant des systèmes actuels. Souvent, c'est le système supportant le jumeau numérique qui est surchargé. En effet, le but de l'adoption du jumelage numérique est souvent de fournir une vue complète du cycle de vie d'un produit en service. Le traitement de ces données est préoccupant, car de nombreuses solutions de jumeau numérique font appel à l'intelligence artificielle ou à l'apprentissage machine pour fournir des représentations en temps réel des biens matériels. Les capteurs d'IdO devront faire appel à de l'informatique et du traitement de pointe, car la manipulation de toutes les données brutes entièrement en interne peut devenir écrasante lorsque l'infrastructure informatique ne peut les prendre en charge[8]. Cependant, même lorsque l'informatique de pointe partage la charge de traitement, un centre de données peut toujours être surchargé par les demandes de traitement de données du jumeau numérique.

Les problèmes de traitement des données s'accompagnent du défi de l'interopérabilité. Si des biens matériels essentiels sont surveillés à l'aide de la technologie de jumelage numérique, cela exige un degré élevé de disponibilité et d'interopérabilité entre la technologie de jumelage numérique, l'IdO et l'infrastructure d'hébergement. Il s'agit d'un défi de taille étant donné que le réseau du GC est vaste, très disparate et qu'il compte de nombreux systèmes en place qui n'ont jamais été conçus pour interagir les uns avec les autres. L'intégration de produits connectés à l'IdO peut être une tâche complexe, et comme le jumeau numérique fait partie intégrante de l'IdO, la mise en œuvre d'un IdO interopérable est une question épineuse lorsqu'on parle de jumeau numérique. Pour réussir la mise en œuvre d'un projet de jumelage numérique, il faudrait un nombre important de capteurs. Dans de nombreux cas, le coût peut être prohibitif. De plus, la gestion du déploiement d'un si grand nombre de capteurs est complexe et prend beaucoup de temps. Le matériel peut également devenir un goulot d'étranglement dans l'espace d'IdO, car de nombreux fournisseurs de capteurs auront besoin de prototypes précoces des biens matériels pour lesquels ils conçoivent des capteurs, afin de vérifier leur conception. Une entreprise qui utilise les capteurs d'IdO pour créer son jumeau numérique sera contrainte d'acheter un nombre important de capteurs, ce qui peut s'avérer coûteux lorsque la complexité de ces capteurs est élevée.

La gouvernance est également un défi majeur puisque plus de 85 % des jumeaux numériques sont gérés par de multiples intervenants. Cela place la question de la propriété et des besoins d'accès à la visualisation à l'avant-plan de la gestion des jumeaux numériques. Il y a la question de savoir à qui appartiennent réellement le jumeau numérique et les données qui le composent.

La connectivité est un autre défi majeur pour de nombreux concepts de jumelage numérique. La plupart des objets matériels qui sont à la fois cruciaux et intéressants à étudier dans une perspective de jumelage numérique ne restent pas stationnaires. S'assurer qu'une connexion ou une réception réseau peut être établie en tout temps vers un réseau posera problème lorsque le nombre d'objets suivis sur un réseau d'entreprise est important et en mouvement semi-continu. La plupart des modèles d'architecture d'IdO reposent actuellement sur la mise en cache des données en périphérie et le traitement dans les modèles de nuages. Cependant, la bande passante nécessaire pour tirer profit d'un scénario de jumelage numérique qui pourrait potentiellement traiter des milliards de points de données est un énorme problème de connectivité<sup>vi</sup>.

Un autre défi dans l'adoption du jumelage numérique est le changement du modèle d'affaires d'une entreprise. L'entreprise doit maintenant placer les jumeaux numériques au cœur de son modèle d'affaires, ce qui peut s'avérer difficile pour les grandes entreprises qui sont plus sensibles aux changements dans leur modèle d'affaires[7]. Le jumelage numérique peut alors être utilisé pour soutenir l'exécution de la stratégie. Cependant, l'exploitation d'un jumeau numérique de cette manière ne peut se faire



que s'il offre une visibilité totale sur les processus opérationnels et le rendement et sur les interdépendances entre eux[6].

## Considérations

SPC devrait envisager de revoir la stratégie d'IdO afin d'établir une vision pour le jumelage numérique et son intégration aux initiatives et services d'IdO. Il faudrait aussi envisager de construire une architecture de jumelage numérique en commençant par la mobilisation des systèmes d'entreprise et puis en l'étendant à l'ensemble de l'écosystème. Une approche stratégique devra être élaborée en ce qui concerne les investissements relatifs à IdO afin de s'assurer que les possibilités connexes en matière de jumelage numérique sont mises à profit adéquatement. Le GC investit une part importante de son budget annuel dans la TI et l'infrastructure associée. Sans orientation stratégique relative à IdO, les approches fragmentées se rapportant aux investissements en matière de TI jumelées à l'évolution rapide de la technologie et aux pratiques opérationnelles disparates pourraient nuire à la prestation efficace et efficiente des programmes et des services du GC.<sup>vii</sup> L'établissement d'une vision et d'un mandat clairs en ce qui concerne la façon dont les jumeaux numériques et IdO transformeront les services ainsi que la détermination de l'état final de l'initiative constitue un élément important. En outre, étant donné qu'IdO est en train de devenir rapidement un attribut omniprésent dans l'informatique, de nombreuses entreprises auront probablement besoin de combiner IdO et les processus de jumelage numérique. Les organisations devront veiller à ce que toute acquisition d'IdO soit dotée du jumelage numérique en tant que fonction intégrée. En outre, lors de la mise à jour de la stratégie d'IdO, des biens matériels eux-mêmes et des applications numériques pour atteindre un IdO amélioré, le jumelage numérique devrait être une considération et une composante inhérentes partout où IdO est concerné.

Les organisations comme SPC ne doivent pas surcharger leur capacité de mener leurs activités en raison de la quantité massive de données sans planifier adéquatement l'analyse de celles-ci simplement par crainte de manquer une occasion. Un appareil IdO ne perçoit pas les activités et processus qui l'entourent. Ainsi, les appareils IdO et l'analytique en temps réel ou quasi réel vont de pair. Les organisations procèdent souvent au déploiement d'appareils IdO à des fins particulières de façon cloisonnée, mais ne traitent pas les nouveaux flux de données connexes ou ne connectent pas ces appareils à d'autres systèmes à des fins d'analyse des données regroupées. Pour tirer profit de la technologie de jumelage numérique, les projets doivent adopter une architecture de pointe intelligente, un processus où les données sont analysées et regroupées à un endroit proche de celui où elles sont recueillies dans un réseau<sup>viii</sup>. Les données doivent être analysées et traitées en périphérie. Les volumes de données nécessaires pour analyser efficacement ces scénarios peuvent être trop importants pour dépendre uniquement du nuage et des centres de données. L'utilisation de la puissance de traitement d'un fournisseur externe comme Microsoft Azure ou Amazon

AWS réduit l'incidence de ces risques à condition que les biens aient une cote de sécurité suffisamment basse pour que leurs données et leur traitement puissent être effectués par un fournisseur de services en nuage.

Pour ajouter de la valeur, les organisations doivent envisager le recours à l'analytique des objets<sup>x</sup> avant de créer des capteurs transférant d'importantes quantités de données des appareils vers les bases de données. Cela signifie également qu'il faudra prendre des décisions sur la quantité de traitement local effectuée par l'appareil IdO, y compris sur les données à conserver et les données à abréger ou à éliminer. De même, lors de l'achat de machines et d'autres biens, le soutien aux jumeaux numériques et l'amélioration continue des capacités des jumeaux devraient être un facteur de sélection<sup>x</sup>.

SPC devrait envisager d'acquérir des portefeuilles de jumeaux numériques en IdO afin de normaliser et d'uniformiser la connaissance de la situation des biens et des composants d'entreprise. Le choix d'un modèle et d'un portefeuille d'intégration des jumeaux numériques qui s'adapte le mieux au processus opérationnel ou à la situation aidera à mettre en œuvre et à intégrer des jumeaux numériques Simples et Composites. SPC pourrait devoir suivre et adopter les normes de l'industrie à l'avenir. SPC pourrait devoir évaluer les efforts en cours de la part de groupes industriels, comme le Digital Twin Interoperability Task Group de l'Industrial Internet Consortium, qui en sont aux premières étapes de l'examen des normes et des cadres visant à soutenir l'interopérabilité des jumeaux numériques. Alors que ces groupes industriels commencent à travailler sur les formats et protocoles applicables aux jumeaux numériques et d'autres normes en simplifiant l'intégration, le rythme de l'évolution de jumeaux numériques est très rapide et devrait être suivi de près.

Les responsables d'applications, qui sont des participants actifs dans l'élaboration de stratégies d'application et qui remettent en question le statu quo, doivent avoir une bonne compréhension des différents types de jumeaux numériques et de leurs relations les uns avec les autres. Ces responsables doivent avoir une bonne compréhension des trois types de technologies de jumeaux numériques, du moment approprié pour les utiliser et de leur relation avec les applications opérationnelles existantes. Les jumeaux numériques sont utilisés pour améliorer la connaissance de la situation, pour mieux comprendre et réagir à l'évolution de la situation d'une ressource opérationnelle et pour appliquer ces capacités de manière plus large afin d'améliorer les processus commerciaux et autres formes de valeur opérationnelle. Ces responsables devraient mener des essais avec des jumeaux numériques et des initiatives à petite échelle afin de découvrir comment SPC peut utiliser la connaissance de la situation améliorée par le jumelage numérique pour améliorer les applications opérationnelles et de service. Cela aidera à déterminer quelle approche de l'acquisition de jumeaux numériques et de leur intégration avec les applications existantes sera la plus efficace pour SPC.

Enfin, SPC pourrait examiner la possibilité d'évaluer le catalogue de services actuel afin de déterminer les situations pour lesquelles IdO peut être mis à profit afin d'améliorer l'efficacité, de diminuer les coûts et de réduire le fardeau administratif en ce qui concerne les services existants et de déterminer de quelle façon offrir les nouveaux services IdO de manière uniforme. Tous les nouveaux appareils ou plateformes acquis doivent avoir une valeur élevée sur le marché et doivent pouvoir être facilement intégrés au réseau du GC.

## Références

1. <https://blogs.sap.com/2018/09/04/impact-of-the-digital-twin-on-the-enterprise-architecture/>
2. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/03/06/what-is-digital-twin-technology-and-why-is-it-so-important/#454c05552e2a>
3. <https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin>
4. <https://www.gartner.com/doc/3888980/design-digital-twins>
5. <https://www.gartner.com/doc/3873175/approaches-integrating-iot-digital-twins>
6. <https://www.gartner.com/doc/3817018/-powerful-use-cases-creating>
7. <https://disruptive.asia/digital-twins-industry-4-0/>
8. <https://www.harperdb.io/blog/the-promise-challenges-of-digital-twin>
9. <https://www.designnews.com/electronics-test/steps-creating-digital-twin/34989275659708>
10. <http://inside.volkswagen.com/The-virtual-twin.html>
11. <https://www.hpe.com/us/en/newsroom/blog-post/2018/07/how-digital-twins-of-the-human-body-can-advance-healthcare.html>

<sup>1</sup> Treasury Board of Canada Secretariat. (March 29<sup>th</sup>, 2019). *Digital Operations Strategic Plan: 2018-2022*. Government of Canada. Treasury Board of Canada Secretariat. ISBN: 978-0-660-29075-1. Retrieved 16-May-2019 from: <https://www.canada.ca/en/government/system/digital-government/digital-operations-strategic-plan-2018-2022.html>

Treasury Board of Canada Secretariat. (November 28<sup>th</sup>, 2017). *Government of Canada Strategic Plan for Information Management and Information Technology 2017 to 2021*. Government of Canada. Treasury Board of Canada Secretariat. ISBN: 978-0-660-24007-7. Retrieved 16-May-2019 from: <https://www.canada.ca/en/treasury-board-secretariat/services/information-technology/strategic-plan-2017-2021.html>

<sup>2</sup> Hippold, Sarah. (January 23<sup>rd</sup>, 2019). *Application and business intelligence leaders can use Digital Twins to decrease complexity in their IoT ecosystems*. Gartner Inc. 2019. Smarter with Gartner. Retrieved 16-May-2019 from: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/how-digital-twins-simplify-the-iot/>

<sup>3</sup> Oracle. (2019). *Developing Applications with Oracle Internet of Things Cloud Service: About the IoT Digital Twin Framework*. Oracle. Copyright © 1994-2019, Oracle and/or its affiliates. Retrieved 16-May-2019 from: <https://docs.oracle.com/en/cloud/paas/iot-cloud/iotgs/iot-digital-twin-framework.html>

<sup>4</sup>Hippold, Sarah. (January 23<sup>rd</sup>, 2019). *Application and business intelligence leaders can use Digital Twins to decrease complexity in their IoT ecosystems*. Gartner Inc. 2019. Smarter with Gartner. Retrieved 16-May-2019 from: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/how-digital-twins-simplify-the-iot/>

<sup>5</sup> Siemens. (2019). *Digital Twin*. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. 2019. Retrieved 16-May-2019 from: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/digital-twin/24465>

<sup>6</sup> Goldberg, Stephen. (June 26<sup>th</sup>, 2018). *The Promise & Challenges of Digital Twin*. HarperDB. 3000 Lawrence St. Denver, CO 80205. Retrieved 16-May-2019 from: <https://www.harperdb.io/blog/the-promise-challenges-of-digital-twin>

<sup>7</sup> Treasury Board of Canada Secretariat. December 3, 2018. *Directive on Management of Information Technology*. Treasury Board of Canada Secretariat. Government of Canada. Retrieved 27-Dec-2018 from: <https://www.tbs-sct.gc.ca/pol/doc-eng.aspx?id=15249>

<sup>8</sup> Techopedia. (2019). *Intelligent Edge*. Techopedia Inc. 2019. Retrieved 16-May-2019 from: <https://www.techopedia.com/definition/32559/intelligent-edge>

<sup>9</sup> The concept of AoT is the analysis of the data collected from IoT devices. Reference: Pal, Kaushik. (August 11, 2016). *Analytics Of Things: Taking IoT to the Next Level*. Techopedia Inc. Retrieved 22-Jan-2019 from: <https://www.techopedia.com/2/31958/trends/big-data/analytics-of-things-taking-iot-to-the-next-level>

<sup>10</sup> Hippold, Sarah. (January 23<sup>rd</sup>, 2019). *Application and business intelligence leaders can use Digital Twins to decrease complexity in their IoT ecosystems*. Gartner Inc. 2019. Smarter with Gartner. Retrieved 16-May-2019 from: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/how-digital-twins-simplify-the-iot/>

---

Goh, D. E. (2018, July 09). *How Digital Twins of the Human Body Can Advance Healthcare*. Retrieved from <https://www.hpe.com/us/en/newsroom/blog->

[post/2018/07/how-digital-twins-of-the-human-body-can-advance-healthcare.html](https://www.ibm.com/blogs/post/2018/07/how-digital-twins-of-the-human-body-can-advance-healthcare.html)