

DOSSIER DE VEILLE

UNITEC

DÉCEMBRE 2019

Les Dossiers de Veille ont pour objectif de vous offrir une analyse des grandes tendances numériques qui bouleversent le monde économique actuel.

JUMEAU NUMÉRIQUE

La numérisation du monde est en marche !

Novembre 2018. La Chine annonce la naissance du premier bébé génétiquement modifié par l'utilisation de la technologie CRISPR-Cas9. L'objectif de l'équipe de recherche de l'Université de Shenzhen est « *d'obtenir des enfants en bonne santé en évitant le VIH et en fournissant de nouvelles perspectives pour l'élimination future des principales maladies génétiques chez les jeunes embryons humains* » grâce à la modification d'un gène baptisé CCR5, impliqué dans la guérison en 2012 d'un malade atteint du VIH. Cette première, qui depuis a été encadrée par des lois de bioéthiques suite au tollé soulevé par cette manipulation dans le monde entier, est le résultat d'un processus commencé il y a des nombreuses années¹, voire de nombreux siècles², celui de la recherche de la perfection ou plus modestement celle de l'absence de défaut. Cette recherche de perfection (ou à un degré moindre de normalité) est une caractéristique humaine participant à la définition d'une vie bonne et heureuse, pleinement accomplie.

1 Depuis les années 1970, la mise en place du Diagnostic Prénatal permet aux futurs parents de détecter in utero chez l'embryon ou le fœtus une affection grave (anomalie génétique ou malformation congénitale, par exemple), afin de donner aux futurs parents le choix d'interrompre ou non la grossesse et de permettre une meilleure prise en charge médicale de la pathologie si la grossesse est poursuivie.

2 La sélection des variétés, les croisements, les hybridations ont été utilisés, depuis la naissance de l'agriculture, par l'homme pour améliorer les rendements, favoriser la résistance aux maladies, etc.



LE JUMEAU NUMÉRIQUE EST UN CLONE VIRTUEL D'UN SYSTÈME PHYSIQUE OU D'UN PROCESSUS.

Si la notion de perfection trouve un terreau fertile dans le milieu de la recherche médicale, d'autres pans entiers de notre existence sont guidés par cette volonté de réduire à néant les risques d'erreur. En effet, ces erreurs et plus généralement les défauts ont un coût, qui peut parfois ne pas être négligeable, ni pour les individus, les entreprises et la société en général. L'approche scientifique de l'organisation du travail (OST) dans les usines cherche à répondre à cette volonté de rationalisation des coûts en mixant efficacité et efficience dans la répartition des moyens de production. Si cette approche n'est pas récente et a évolué depuis l'ère moderne, il n'en reste pas moins que depuis une vingtaine d'années, avec l'explosion des technologies numériques, elle change de visage. En recherchant de manière scientifique l'atteinte de la perfection ou, du moins, de la réduction au maximum des défauts – sur toute la chaîne de production de la matière première au produit final – les industries fixent la recherche du « zéro défaut » comme un objectif en soi. Originellement, la théorie du zéro défaut s'inscrit dans le mouvement lancé par la firme japonaise Toyota au sortir de la Deuxième Guerre



avec le soutien de



Mondiale qui cherche, à travers la [théorie de la qualité totale](#), dont un des principes fondamentaux est la minimisation des pertes par une qualité absolue via la mobilisation de l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise, une amélioration continue des processus de production. Chaque employé est appelé à une vigilance de tous les instants sur les chaînes de production. La culture du zéro défaut se retrouve aussi au niveau des managers et des cadres qui doivent veiller à ce que cette culture s'infuse à l'ensemble des équipes. Au niveau de la direction, la recherche de la qualité absolue a surtout pour objectif de minimiser les coûts associés aux défauts ou à la perte qui viennent grever les résultats économiques des entreprises. Dans l'industrie du bâtiment par exemple, 35% des coûts sont directement ou indirectement liés aux gâchis des matériaux et aux travaux correctifs suite à des défauts de conception.

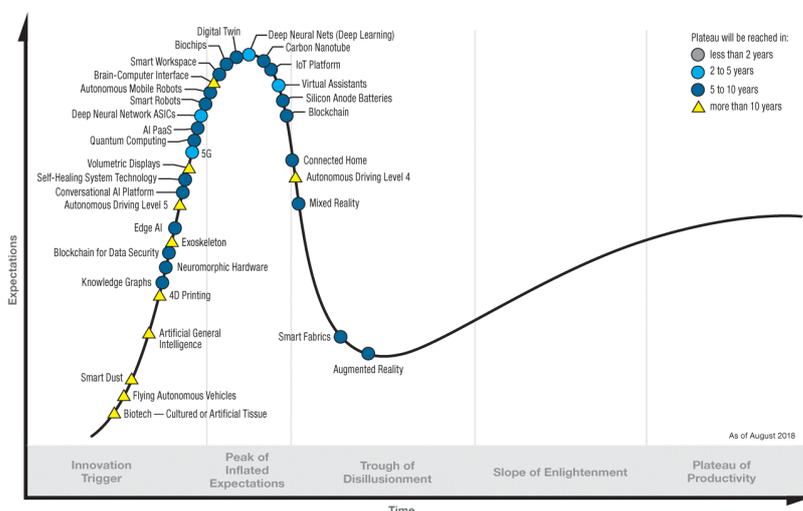
La philosophie générale de l'Usine 4.0 répond à cette volonté d'efficacité et d'efficience de nos modes de production industrielle. L'usine 4.0 c'est la 4ème génération d'une évolution des modes et des organisations de la production industrielle. Elle s'inscrit dans la continuité de la Révolution Industrielle et de sa troisième étape qui correspond à l'introduction des nouvelles technologies de l'information et de la communication dans les systèmes et le recours de plus en plus fort à l'automatisation et à la robotisation. Le concept d'usine 4.0 a été évoqué pour la première fois lors de la Foire de Hanovre de 2011. Elle correspond à une nouvelle façon d'organiser les moyens de production : mettre en place des usines «intelligentes», où tout est réalisé en interaction entre les produits et les machines et les machines entre elles, liés dans un réseau lui-même connecté avec des systèmes externes (communication instantanée et en continu). L'usine 4.0 est un système global interconnecté qui peut potentiellement concerner toutes les entreprises, on parle alors de *smart factories*.

A l'intérieur des usines, cela se traduit par une interaction forte entre les systèmes informatiques, les capteurs communicants de plus en plus présents, l'IIoT ([Industrial Internet of Things](#)), les logiciels de simulation, de traitement de l'information, de pilotage, les machines aux performances toujours plus élevées. Les usines deviennent de plus en plus agiles, efficaces et performantes. L'une des forces

de la smart factory est d'être flexible et de s'adapter à une demande client de plus en plus exigeante. Elle gagne ainsi en compétitivité. Mais pour cela, la logistique doit être parfaitement organisée et efficiente sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement : du stockage des produits, au transport, en passant par les équipements (machine, camion...), les fournitures (matières premières, emballage, carburants...), ou encore la planification et les systèmes d'information et de contrôle de gestion. D'ici 2022, selon IDC, 40% des industries auront entamé un processus de numérisation de leurs activités soit autant d'industries qui seront réellement entrées dans l'ère de l'usine 4.0.

Le jumeau numérique est une composante importante de la smart factory au même titre que la [fabrication additive](#), la [réalité augmentée](#), l'intelligence artificielle ou la [cobotique](#). Les études de marché mondiales convergent toutes vers les mêmes conclusions. Ainsi, le [cabinet ABResearch](#) estime que dans le monde en 2017, 4% des entreprises manufacturières avaient un jumeau numérique, que 83% ont commencé à se renseigner et 29% prévoyaient de s'y essayer dans les 12 mois à venir. D'après cette étude, **54% des industries manufacturières devraient être équipées en 2026**, ce qui confirme [les projections de Gartner](#) qui annonce que cette technologie atteindra sa maturité entre 2022 et 2027 (comme le montre le graphique ci-dessous). Toujours selon les experts, le marché mondial des jumeaux numériques sera compris entre **13,9 milliards de dollars en 2022 et 15,66 milliards de dollars en 2023**. D'après [Gartner](#) et IDC, les entreprises qui investissent dans un jumeau numérique auront **30% d'amélioration de leurs processus critiques** !

Hype Cycle for Emerging Technologies, 2018



gartner.com/SmarterWithGartner

Source: Gartner (August 2018)
© 2018 Gartner, Inc. and/or its affiliates. All rights reserved.

Gartner

Cette philosophie du zéro défaut se retrouve dans bon nombre de domaines, tant au niveau collectif qu'au niveau de l'individu. Le jumeau numérique, qui peut se décliner, nous allons le voir, en bien des versions différentes, peut répondre parfaitement à cette exigence de perfection. En effet, en établissant une correspondance complète entre un objet physique et son double virtuel, il est possible d'anticiper, en simulant et modélisant des externalités sur le double numérique, l'impact de ces mêmes externalités sur l'objet physique. A l'heure de la production et de la collecte massive des données, les coûts liés à l'établissement d'un jumeau numérique chutent permettant à quasiment tous les secteurs d'activités et bon nombre d'entreprises d'envisager la mise en place de ce type de solution dans une stratégie plus globale de rationalisation des coûts. Mais au-delà du secteur industriel, principal client des technologies de jumeau numérique, d'autres secteurs lorgnent sur les promesses de ces technologies. Au premier rang de ceux-ci, la santé et la médecine n'hésitent pas à investir le monde des doubles digitaux afin d'apporter des solutions dans le traitement de plus en plus personnalisé des maladies. L'architecture, l'urbanisme mais aussi la smart city sont également des secteurs d'activités qui se lancent dans l'aventure du jumeau numérique : gestion des fluides, maquettes 3D, BIM autant d'enjeux auxquels le jumeau numérique peut répondre. Ce dossier de veille fait le point sur ce marché en plein essor.

1- Jumeau numérique, double numérique : quelques éléments de définition

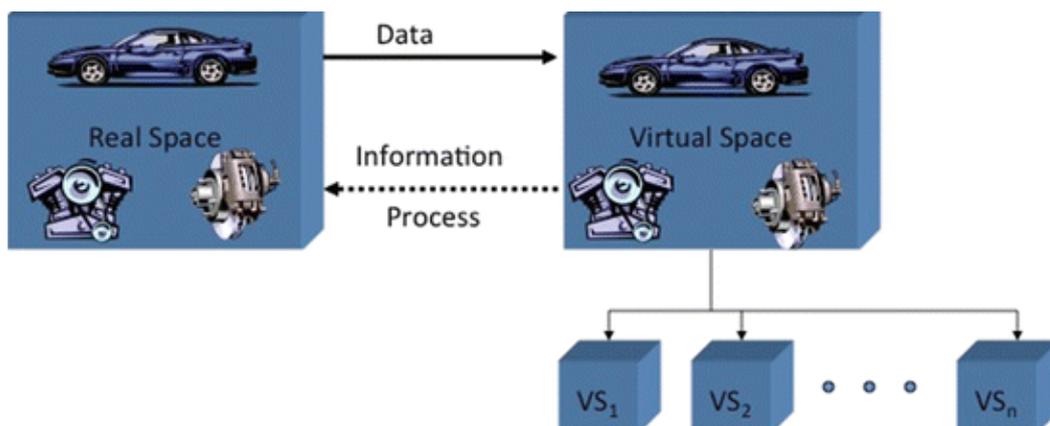
Il existe de nombreuses définitions du jumeau numérique (aussi appelé double numérique). Initialement, la notion a été inventée par [Michael Grieves](#), spécialiste de la gestion du cycle de vie des produits (PLM, [Product Lifecycle Management](#)) en 2002. Si le concept se nomme alors « idéal conceptuel pour le

PLM », il comporte en lui les prémisses du jumeau numérique : y sont présents les espaces physique et virtuel, les données sous forme d'un flux entre les deux espaces, ainsi que les sous-espaces virtuels qui composent la modélisation virtuelle de l'objet. Selon Grieves, il était possible de créer une représentation numérique virtuelle parfaite d'un objet physique auquel il serait relié sur l'ensemble du cycle de vie (à travers un échange permanent de jeux de données).

Véritable miroir³ de l'objet physique et de ces caractéristiques, le jumeau numérique (terme finalement adopté en 2011) n'existe réellement que s'il réunit trois objets :

- La présence d'un produit physique dans son environnement réel,
- La création du jumeau dans un espace virtuel,
- La circulation d'informations reliant les deux espaces

S'il ne remplace pas son original physique, le jumeau numérique en intègre toutes les fonctionnalités. Selon l'[Alliance Industrie du futur](#), « le jumeau numérique est un clone virtuel d'un système physique ou d'un processus. Il implique systématiquement l'existence d'un couple « modèle numérique » avec l'objet qu'il copie. Les objets concernés peuvent être un produit, une machine, une ligne de production, un processus, une supply chain. Suivant le système concerné et l'utilisation souhaitée il peut être un modèle géométrique, multiphysique, fonctionnel, comportemental. Il doit évoluer dans le temps comme son jumeau réel ». Le [cabinet Gartner](#) définit le jumeau numérique comme « une représentation numérique d'un objet physique. Cela inclut le modèle de l'objet physique, les données de l'objet, une correspondance unique avec l'objet et la possibilité de surveiller l'objet. » et classe ce dernier comme une des technologies disruptives de l'usine de demain depuis de nombreuses années.



Conceptual Ideal for PLM selon Michael Grieves, 2002

³ Grieves a un temps présenté son modèle sous l'appellation Mirrored Spaces Model.

Pour fonctionner, un jumeau numérique doit rassembler trois fonctions :

- **L'appréhension** : le double rassemble des données afin de mettre à jour son modèle. Ce sont des traitements automatisés afin de prédire des comportements.

La compréhension : grâce à la simulation, le jumeau peut être interrogé sur les conséquences des variations de certains paramètres. Ce qui permet par exemple de dresser des scénarios suite à des accidents théoriques (dans le cas de centrale nucléaire)

- **L'action** : le jumeau numérique propose un plan d'action à examiner. L'opérateur peut la mettre en place, soit virtuellement (pour en évaluer les conséquences) soit physiquement (par exemple s'il a le contrôle sur certains paramètres d'une usine).

Pour l'un des leaders mondiaux des solutions IoT, Exosite, il existe trois niveaux de maturité du jumeau numérique :

- **La forme partielle** : le jumeau numérique minimal contient généralement un petit nombre de sources de données, telles que la température, la pression et l'état du périphérique. Des jumeaux numériques partiels peuvent être utiles pour surveiller une métrique ou un état clé à partir d'un actif à faible consommation d'énergie ou à ressources limitées, tel qu'une ampoule connectée qui signale simplement son état d'alimentation

réel.

- **La forme clonée** : cette forme contient toutes les sources de données significatives et mesurables d'un actif. Ce niveau est applicable lorsqu'un actif connecté n'est pas soumis à des contraintes d'alimentation ou de données. Il est utile lors des phases de prototypage et de caractérisation des données du développement IoT.
- **La forme augmentée** : le jumeau numérique augmenté améliore les données de l'actif connecté avec des données dérivées, des données corrélées de sources fédérées et / ou des données d'intelligence issues d'analyses et d'algorithmes.

En mai 2017, le Computing Community Consortium américain a établi une feuille de route nationale pour la recherche en matière d'infrastructure intelligente. Selon le consortium, une infrastructure intelligente consiste à intégrer les capacités de détection, d'informatique et de communication aux infrastructures physiques urbaines et rurales traditionnelles telles que les routes, les bâtiments et les ponts afin d'accroître l'efficacité, la résilience et la sécurité. En d'autres termes, il s'agit d'associer, dans une volonté de moderniser les infrastructures, à chaque élément constitutif (bâtiment, routes, etc.) un double numérique. Celui-ci se doit d'être :

- **Descriptif** : offre une description et une caractérisation en temps réel et précise de l'état du système physique. Par exemple, le jumeau nu-

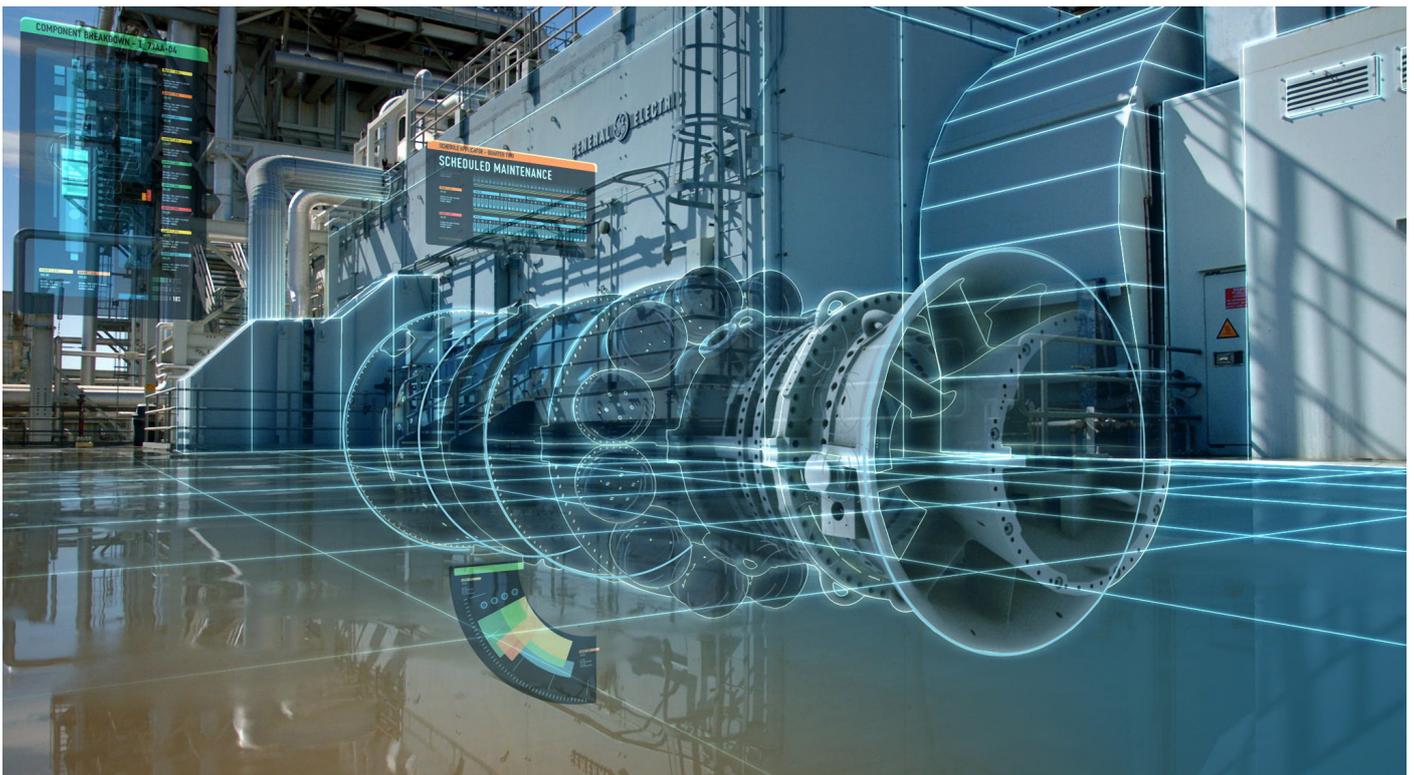


image from helloopenworld.com

mérique peut indiquer en temps réel l'état d'un circuit d'alimentation en eau d'un bâtiment.

- **Prescriptif** : le jumeau numérique peut recommander des actions à mener à court terme ou à moyen terme. Par exemple, il peut recommander de dévier la circulation sur une route congestionnée.
- **Prédictif** : le jumeau numérique doit également être prédictif c'est-à-dire être en mesure d'anticiper et de prévoir les modifications auxquelles va être soumis le système physique en se basant sur une évaluation de l'état simulé, sur les modèles établis à partir des données collectées précédemment et les ressources et capacités disponibles à l'instant-t. Par exemple le jumeau numérique doit pouvoir prédire les conséquences d'une inondation dans un quartier à partir de données issues de capteurs, des modèles météorologiques passés et présents et des capacités d'absorption de l'écoulement des eaux du système d'égout.
- **Proactif** : il permet la prise de décisions et la planification de scénarios en incorporant des données exogènes.

Le CCC propose alors le découpage suivant d'un système d'infrastructure intelligente :

	Descriptif	Prescriptif	Predictif	Proactif
Transport Intelligent	Information en temps réel sur l'état du trafic	reroutage; Reconfiguration dynamique des voies de circulation (direction, HOV)	Anticipation des heures de pointe; Anticipation des accidents liés au conditions météo	Modélisation du trafic et adaptation; Planification de la réduction de circulation
Gestion intelligente de l'énergie	Information en temps réel de la demande énergétique	Amélioration de l'utilisation des matières premières et mise en place d'un système d'allocation	Anticipation de la demande afin d'assurer la fiabilité et la capacité de réponse du système de fourniture	Nouvelles approches marché afin d'intégrer les capacités de production et de distribution
Sécurité publique intelligente	Analyse de la foule en temps réel	Détection de menaces; Répartition des agents de sécurité	Anticiper les événements potentiellement dangereux	Nouvelles méthodes de gestion et de communication
Réponse intelligente aux catastrophes	Relevés des niveaux des eaux dans des zones inondables	Gestion des inondations et des évacuations	Anticipation des inondations avec une cartographie terrain	Informers les populations vulnérables et les systèmes d'assurance
Smart City	Description des schémas de mobilité (piétons, cyclistes, automobiles, véhicules autonomes)	Ajustement des plans de déplacement pour renforcer la sécurité; Réduction de la consommation énergétique	Anticipation des changements dans la demande de stationnement; Programme de déploiement de stations de recharge électrique	Evaluer les capacités futures en matière de mobilité afin de conduire le développement économique
Agriculture intelligente	Caractériser les modifications temporelles et spatiales des sols, du climat et des cultures	Conseils basés sur les facteurs de stress environnementaux et les caractéristiques des cultures	Prévision du rendement des cultures; Anticipation des besoins saisonniers en eau	Personnaliser les pratiques de gestion et la sélection des semences en fonction des conditions locales
Communautés rurales	Décrire les communautés rurales	S'assurer que les habitants des zones rurales ne restent pas en marge de la révolution numérique	Anticiper les évolutions démographiques en milieu rural	Loi sur les infrastructures intelligentes axée sur les zones rurales proposée

Pour terminer, nous pouvons reprendre les propos de Cédric Mangaud, PDG et cofondateur d'Octonion à propos de [la philosophie du jumeau numérique](#). Selon lui, « *il ne s'agit en aucun cas de nier la possibilité de dysfonctionnement, il s'agit de mettre en place les moyens techniques permettant d'en anticiper les conséquences pouvant mettre en danger l'ensemble d'une chaîne de valeur et permettre de résoudre le problème avant qu'il ne se pose.* »

2- Un peu d'histoire ...

La NASA est l'une des pionnières dans l'histoire du jumeau numérique. A l'origine, la NASA faisait ce qu'elle appelle de la technologie d'appariement (*pairing technology*). En effet, il s'agissait pour le géant de l'aérospatiale de pouvoir faire fonctionner, entretenir ou encore réparer des systèmes situés à des millions de kilomètres du centre de commandement. C'est pour cela qu'il lui fallait pouvoir depuis la Terre simuler les problèmes qui pouvaient arriver afin d'indiquer aux astronautes ingénieurs comment intervenir. C'est grâce à cette technique que l'équipage du [vol Apollo 13](#) a pu être sauvé en 1970. Aujourd'hui, [la NASA utilise le concept de jumeau numérique](#) lors de la fabrication des véhicules spatiaux afin de répondre aux enjeux de sécurité qui se présentent à chaque vol dans l'espace. Comme le stipule un article, « *les*

véhicules étant susceptibles de faire face à des conditions imprévisibles, de nouvelles approches en matière de vérification et de validation des modèles, des simulations et des systèmes doivent être développées. En outre, la capacité de modifier et d'évaluer les conséquences de la modification des paramètres de la mission en temps quasi réel devient nécessaire. » En ce sens, le jumeau digital se doit « *de prévoir en permanence la santé du véhicule ou du système dans son ensemble, la durée de vie restante et la probabilité de réussite de la mission. Le jumeau numérique peut également prévoir les réactions du système aux événements critiques pour la sécurité et d'identifier des problèmes*

jusque-là inconnus avant qu'ils ne deviennent critiques en comparant les réponses prédites et réelles. Enfin, les systèmes incorporés au jumeau numérique doivent être capables d'atténuer les dommages ou les dégradations en activant des mécanismes d'auto-guérison ou en recommandant des modifications du profil de la mission pour réduire les charges, augmentant ainsi à la fois la durée de vie [du véhicule] et la probabilité de réussite de la mission. »

client. Pour la société [Swiss International Airlines](#), Aviatar a modélisé, à travers la réalisation de jumeaux numériques, l'ensemble de la flotte aérienne. L'objectif premier est simple : proposer aux clients des avions fiables et ponctuels sur tous les vols. Pour cela, grâce aux jumeaux numériques, la compagnie aérienne peut suivre en temps réel l'état physique de chacun des avions (et disposer des mêmes informations que les pilotes), anticiper les interventions de maintenance par un système d'alerte afin d'intervenir



Dans l'aéronautique et l'aérospatiale, de nombreuses entreprises d'ingénierie de pointe ont suivi de près l'exemple de la NASA, notamment les équipementiers civils et militaires. James Happelmann, Président de [PTC](#) (éditeurs de solutions et plateformes technologiques permettant aux entreprises et industries d'assurer une parfaite transformation numérique), n'hésite d'ailleurs pas. [Selon lui](#), « si un constructeur surveille les jumeaux numériques de ses avions, cela lui permettra par exemple d'informer une compagnie que ses pilotes consomment plus de carburants que la plupart des autres compagnies et lui proposer de la formation. Elle pourra aussi alerter les sociétés de service quand les pneus doivent être changés, non plus en se basant sur une moyenne mais sur l'état réel des pneus, ce qui génère des économies ». [Aviatar](#) est une plateforme de services aux compagnies aériennes qui disposent de flottes d'avions. Cette plateforme se compose, à l'image d'un store d'applications, de briques de services activables selon les besoins du

nir le plus rapidement possible et prédire de manière fiable les pannes et usures éventuelles auxquelles les avions vont devoir faire face à partir des données générées et modélisées sur le jumeau numérique. [Les conséquences sont claires](#) : les entreprises qui font appel au modèle Aviatar rationalisent l'utilisation de leur flotte d'avions, leur permettant de rendre plus fluide et efficiente la gestion des vols et le temps passé au sol. Grâce à cela, elles réduisent leurs coûts liés à la consommation de carburant mais aussi les coûts liés au maintien au sol. Le recours au jumeau numérique permet également d'éviter des coûts importants de maintenance par l'intermédiaire d'une prévention plus active (grâce aux modèles prédictifs) mais aussi par des interventions plus rapides et plus ciblées.

3- Vers une virtualisation des hangars et des usines

Mais l'aéronautique n'utilise pas le jumeau numérique dans le seul cadre de la gestion de la flotte aérienne mais aussi dans celui de l'optimisation, au sol, des hangars et des usines. En 2017, le groupe toulousain, [Latécoère](#), a ainsi choisi de confier la digitalisation de ses usines et hangars situés près de Toulouse à [Dassault System](#) et [Visiativ](#). L'objectif était de concevoir une usine entièrement automatisée

différents choix d'évolution possibles avant de les réaliser engendrant des économies substantielles tout en gagnant du temps. Des sociétés françaises proposent également des services clé-en-main de réalisation de jumeau numérique de hangars comme [MyDigitalBuildings](#). Cette société de digitalisation de bâtiments utilise les méthodes les plus innovantes pour réaliser à partir de mesures ultraprécises des véritables doubles virtuels de hangars. Elle a ainsi réalisé pour la société [Helisair](#), un jumeau numérique d'un bâtiment qui accueille des hélicoptères. Après

LA PLACE BORDELAISE ACTIVE SUR LE SUJET DU Jumeau NUMÉRIQUE

La métropole bordelaise est particulièrement concernée par le sujet du jumeau numérique. Outre, InHeart et Nurea (présentés dans le document), plusieurs entreprises développent des solutions de Digital Twins. [Hiventive](#) est une start-up bordelaise spécialisée dans la conception de produits électroniques. Face aux problèmes rencontrés par les différentes parties prenantes (développement matériel, développement applicatifs) dans la conception et la réalisation d'un produit électronique conduisant à un retard de commercialisation, Hiventive propose une plateforme de prototypage numérique ouverte aux entreprises désireuses d'utiliser un jumeau numérique dès les premières phases de conception du produit afin de tester, sur un prototype virtuel, les éventuels failles et écueils. L'objectif est de réduire le temps et les coûts liés à la conception des produits électronique. Fondée en 2012 à Paris et installée à Bordeaux depuis 2014, [FieldBox.ai](#) est une entreprise forte d'une trentaine de salariés qui œuvre dans l'univers de l'usine 4.0 en fournissant aux entreprises et aux grands groupes des solutions numériques d'optimisation. Utilisant des algorithmes d'intelligence artificielle nourris par des flots de données fournies par les machines et leurs opérateurs, l'entreprise permet aux industriels d'anticiper les pannes et d'en réduire les coûts d'intervention. FieldBox.ai met à disposition son expertise dans tous les [secteurs d'activités industriels](#). Dans le domaine de la santé au travail, l'entreprise [Aio](#) développe Numii, un jumeau numérique permettant d'identifier et de prévenir les troubles musculosquelettiques au travail. Grâce à des capteurs placés près d'un salarié, la solution enregistre et cartographie l'ensemble des gestes effectués ainsi que les postures. Par cette virtualisation, [Numii](#) propose aux chefs d'entreprise et aux responsables d'usine des préconisations une image fidèle du comportement de chaque salarié permettant de prendre des mesures (modification des conditions de travail, modification des horaires, prise en charge des TMS) améliorant la qualité de vie au travail et la santé de tous les collaborateurs.

et en fonctionnement 24h/24 et 7j/7. Pour cela, Visiativ est intervenu afin de modéliser le jumeau numérique de l'usine, via la mise au point d'un modèle 3D unique de celle-ci. Grâce à cette modélisation, le Groupe Latécoère a pu faire les bons choix en amont de la construction et ainsi sécuriser les performances à chaque étape, de la conception du bâtiment à l'exécution. Visiativ s'est appuyé sur [la suite applicative Delmia](#) du Groupe Dassault System afin de numériser le bâtiment, les machines, les postes de travail ainsi que les flux internes. Le jumeau numérique, par sa souplesse, permettra également à Latécoère de simuler et visualiser, sur la maquette numérique,

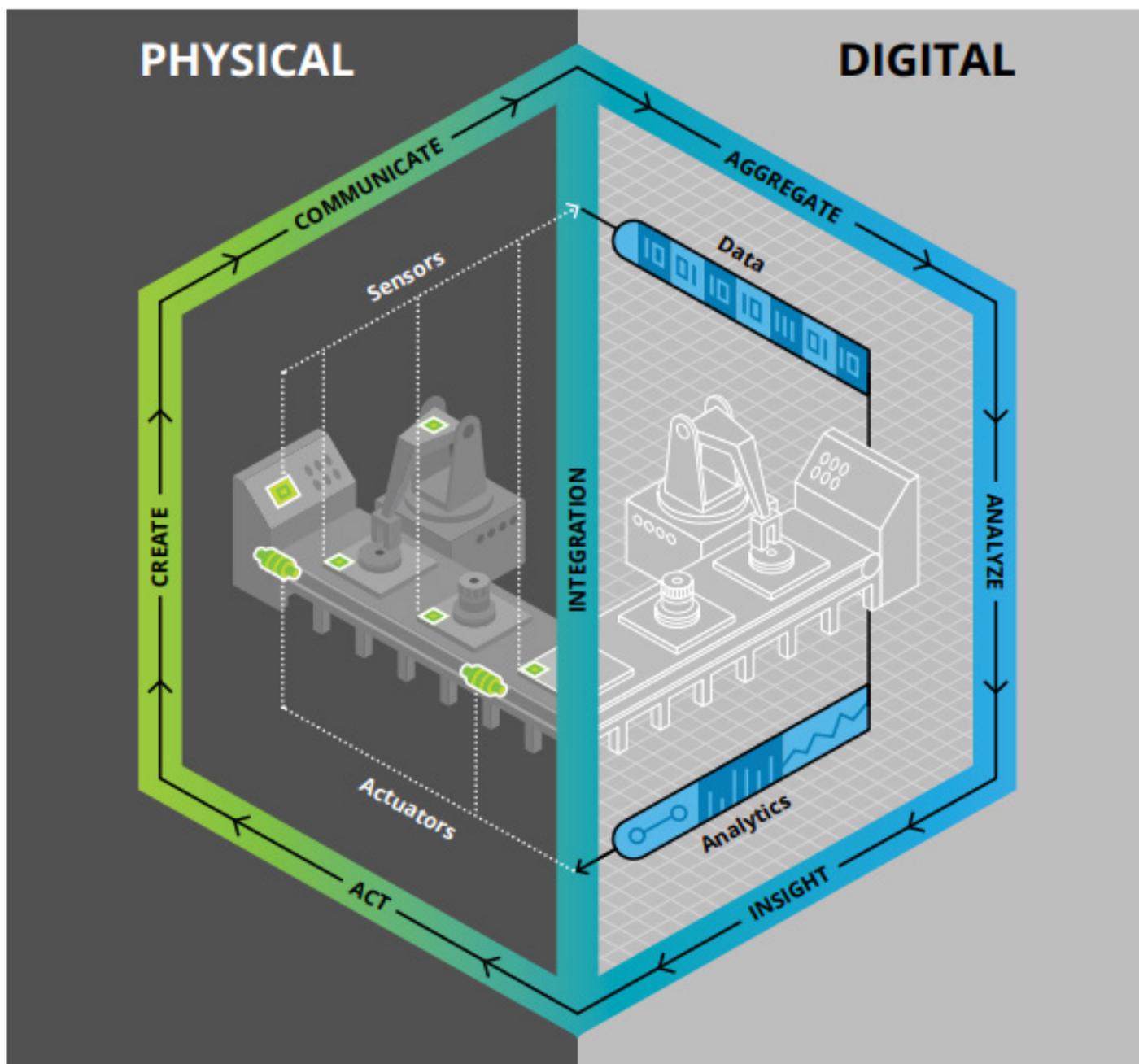
la captation des points d'intérêt grâce à un scanner, la société est capable de modéliser un modèle 2D puis un modèle 3D du hangar avec l'ensemble des côtes exactes¹. En conséquence, l'entreprise dispose d'un modèle numérique dans lequel elle peut déplacer l'ensemble des éléments à stocker (hélicoptères, matériel et outils de maintenance, etc.) afin d'en simuler l'organisation optimale. Plus près de nous, l'entreprise angoumoisine [Iteca](#) est éditeur de solutions d'Intelligence Industrielle, de transformation digitale des industries en utilisant des technologies de pointe comme l'IA décisionnelle, la Réalité Vir-

⁴ On parle de [photogrammétrie](#).

tuelle et la Réalité Augmentée mais aussi la réalisation de jumeaux numériques propose une suite de solutions pour la modernisation des industries (réalité virtuelle – réalité augmentée, robots collaboratifs, objets connectés) dont fait partie la réalisation de jumeau numérique. Les objectifs annoncés sont clairs : aide à la conception, aide à l'aménagement des lignes de production, communication interne, formation, interface de supervision de l'entreprise, simulation d'organisation d'une usine, d'une ligne de fabrication, réorganisation virtuelle, virtualisation du contrôle-commande. L'offre de l'entreprise permet une réelle modernisation de l'industrie.

Le recours au jumeau numérique permet, dans les usines, une implantation optimale des lignes de production, des machines et des postes de travail. Ainsi,

en réalisant un double d'une usine, il est possible de simuler et visualiser l'impact d'une modification des installations sur la productivité globale de l'usine. C'est ainsi le cas de [l'usine de Congleton](#) en Angleterre qui après avoir subi de plein fouet la crise de 2008 a relevé la tête se transformant en usine 4.0 dont le jumeau numérique est une composante (en plus d'une salle de réalité virtuelle, un recours à l'IoT et au cloud computing). Siemens, qui est le propriétaire de l'usine, a fait le pari du jumeau numérique afin de simuler l'implantation des chaînes de production dans un milieu urbain contraint, ne permettant pas d'agrandir les bâtiments. [Sanofi utilise également le jumeau numérique](#) dans le cadre de la gestion de ses usines avec trois volets : le premier volet concerne les salariés puisque le jumeau numérique permet à l'entreprise de proposer aux futurs salariés de visua-



liser leur poste de travail et de se former de manière plus ludique. Le deuxième volet est plus opérationnel puisqu'il consiste à évaluer le temps de production des médicaments en simulant, sur le jumeau numérique, la chaîne de production en introduisant des paramètres particuliers à chaque médicament.

Cela permet donc à l'entreprise d'anticiper les ruptures dans la chaîne de production et d'anticiper la gestion des stocks à priori. Enfin, dernier volet, le jumeau numérique permet également à Sanofi d'anticiper les possibles pannes sur les machines de production et donc d'intervenir en anticipation afin de ne pas bloquer la production. Pour ce dernier point, Sanofi mutualise les informations avec les différentes usines qui produisent les mêmes médicaments à partir des mêmes machines afin de collecter plus de données et d'avoir des modèles prédictifs beaucoup plus précis. Selon [Mohit Joshi](#), Président d'Infosys Brazil, c'est toute l'industrie pharmaceutique qui doit aujourd'hui s'emparer de cette problématique du jumeau numérique (et plus largement de l'usine 4.0) puisqu'elle tirerait parti de l'utilisation d'une simulation numérique de l'ensemble de la chaîne de production. [Selon lui](#), « avec des données précises et des analyses à disposition, les processus de fabrication des médicaments seront mieux contrôlés et offriront le meilleur rendement possible. Cela permettra non seulement de diminuer les coûts, mais aussi de réduire le gaspillage des ressources utilisées. En outre, les jumeaux numériques des médicaments produits en série, par exemple les vaccins, faciliteront le suivi et la vérification des produits, ce qui est de plus en plus important dans la distribution, en particulier pour les urgences médicales. »

LA VIRTUALISATION DES HÔPITAUX EST EN ROUTE

A Saint-Etienne, dans la Loire, l'Ecole des Mines a lancé une plateforme multifonctions permettant de favoriser la co-création mais aussi l'expérimentation en interaction directe avec les industriels et professionnels du secteur. #FutureMedecine se décline en trois pôles scientifiques et techniques autour d'un living lab orienté silver economy (MedTechLab), un openlab pour le design thinking en santé centré sur les dispositifs médicaux (MedTechDesign) et un démonstrateur industriel dédié à l'élaboration des poudres biocéramiques (3DFabLab). Par-

mi les initiatives, l'Ecole des Mines a collaboré avec le C.H.U. de Saint Etienne afin de réaliser un jumeau numérique de la structure hospitalière : l'objectif de HoVi est de créer un jumeau digital de l'hôpital et mettre à disposition de l'ensemble des salariés (corps médical et administratif) des applications innovantes en lien avec la réalité virtuelle et la réalité augmentée. S'il fonctionne pour l'instant sur des données simulées, l'hôpital virtuel utilisera à terme des données fournies, tous les quarts d'heure, par le C.H.U. : heure d'entrée du patient, pathologie, demande d'avis de spécialiste, heure de sortie... Ces données permettent de déduire des tendances d'affluence ou de temps de prise en charge. Surtout, le logiciel permet de visualiser l'impact d'une baisse d'effectifs, voire de simuler une catastrophe naturelle ou un attentat pour mieux y répondre en conditions réelles.

Source : www.mines-stetienne.fr

4- Bâtiments & villes : les nouveaux terrains de jeu du jumeau numérique

Autre domaine dans lequel le jumeau numérique est de plus en plus utilisé, celui de l'architecture et de l'urbanisme. Depuis longtemps, ces deux corps de métiers utilisent des modèles 3D pour concevoir les bâtiments et leurs aménagements ainsi que leur implantation à l'échelle d'un îlot ou d'un quartier. Depuis une trentaine d'années, urbanistes, aménageurs et architectes utilisent le BIM ([Building Information Modeling](#)) pour coordonner les échanges d'informations fiables tout au long de la durée de vie d'un bâtiment ou d'infrastructures, de leur conception jusqu'à leur démolition. Cependant, le BIM présente le défaut majeur qu'il n'inclut généralement pas de données en temps réel collectées sur le site de construction ou le bâtiment en exploitation. L'objectif est de développer un jumeau numérique du bâtiment - une représentation numérique en temps réel d'un bâtiment ou d'une infrastructure. Cela diffère du BIM. Le jumeau numérique utilise des outils et des technologies pour collecter et traiter des données réelles et des informations provenant d'appareils, de composants, de pièces et de machines situées sur un site de construction en cours, ainsi que des structures en cours d'utilisation. A Bidart, dans le Pays Basque, l'entreprise [AlgoTech](#) propose ArchiData, une [solution logicielle](#) est basée sur la récupération de l'in-

telligence des plans papier ou numériques 2D et les modèles issus du logiciel [Revit](#) (édité par Autodesk) pour « architecturer » la Gestion de Patrimoine Immobilier dans une plateforme web intégrée. Avec les jumeaux numériques, les modèles de conception et de construction seront synchronisés permettant aux entreprises de surveiller en permanence les progrès réels réalisés par rapport à la planification initiale basée sur le BIM.

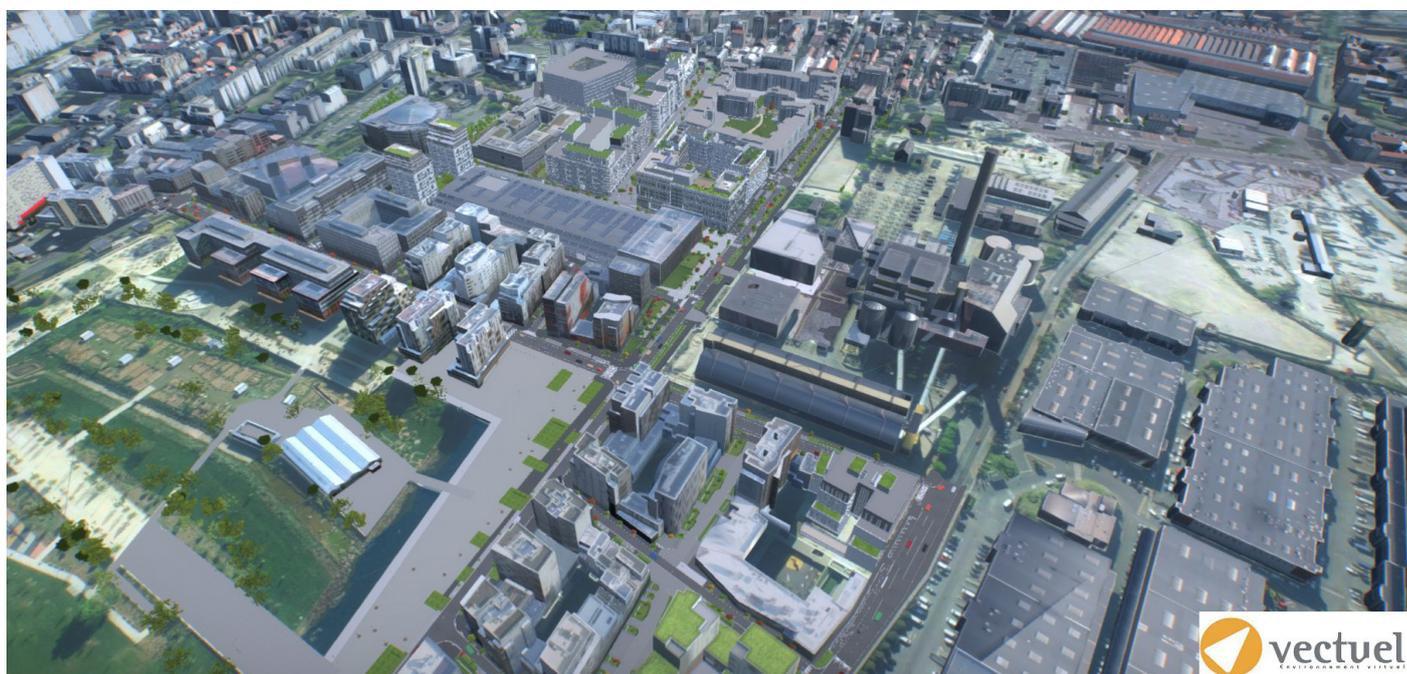
De manière général, l'utilisation d'un double numérique permet :

- Le suivi automatisé des progrès permettant de vérifier la conformité du résultat aux plans et devis ;
- Le suivi quotidien des changements et des évolutions du modèle permettant la détection précoce des défauts et des écarts au jumeau ;
- La prévision dynamique des besoins évitant ainsi une surallocation des ressources ;
- L'assurance de la sécurité des travailleurs grâce à un système de détection précoce et de notification par application d'une intelligence artificielle ;
- L'évaluation de la qualité au moyen de technologies de traitement d'images permettant de vérifier les conditions de la structure et de détecter les fissures ou le déplacement de matériaux, réduisant ainsi le nombre des inspections ;
- L'optimisation de l'utilisation des équipements par imagerie.

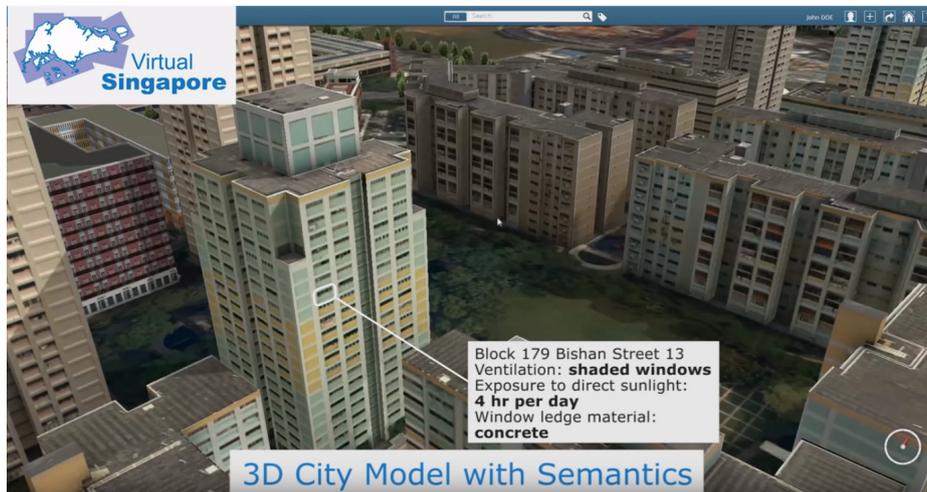
Parmi les leaders français du marché, l'entreprise bordelaise [Vectuel](#) œuvre depuis de nombreuses années maintenant dans l'univers de la modélisation 3D et

la réalisation de jumeaux numériques de grands projets urbains et de villes. Les références ne manquent pas : [Sceaux](#), [Ville de Saint Denis](#), [Nantes Métropole](#) pour ce qui concerne les [projets urbains](#), [Société du Grand Paris](#), [Aiguillage de Nemours](#) avec la SNCF pour les projets relatifs aux transports, etc. Vectuel utilise les dernières technologies de captation, de traitement et de restitution de données permettant de construire des jumeaux numériques comme outils d'aide à la décision. On assiste également à l'émergence du BEM (Building Energy Model) qui peut venir compléter le BIM en ajoutant, à la modélisation géométrique des bâtiments, une modélisation énergétique en intégrant des informations sur les matériaux utilisés et leurs propriétés d'isolation mais aussi des informations énergétiques, telles que les systèmes d'installations, le type d'isolation, les enveloppes opaques, les structures vitrées, les sources d'énergie, les données climatiques, entrées internes, aspects et caractéristiques du chauffage, du refroidissement et de la ventilation. En intégrant le BEM au jumeau numérique, il est possible de simuler et d'évaluer l'impact des modifications des matériaux ou de la disposition des structures sur l'impact énergétique de la construction.

De plus en plus de grandes villes et de grands centres urbains souhaitent se doter d'un double numérique. Au-delà de l'outil de communication, les maquettes 3D permettent également aux conseils municipaux de discuter des grands choix qui s'offrent à eux en matière d'aménagement et de gestion de la ville. Le jumeau numérique a l'avantage de permettre de visualiser les conséquences d'une décision sur la voirie par exemple. Le choix de telle essence d'arbres plu-



tôt que telle autre peut être testé en temps réel et visuellement. Si dans le domaine de l'architecture le jumeau numérique est la continuité du BIM, en aménagement du territoire on peut parler de SIG 2.0 (Système d'informations géographiques). Il devient possible de simuler un aménagement en fixant les surfaces à usage tertiaire, les surfaces commerciales et le reste pour les logements et déterminer l'impact économique ou le besoin de nouveaux moyens de transport de ces zones. Le modèle 3D peut aussi être exploité pour évaluer l'impact d'aménagements routiers comme la construction d'un nouveau rond-point ou d'un nouveau pont. Le modèle peut être exploité afin de mener des simulations d'évènements climatiques et comme un support à la prise de décision. A Paris, le chantier de la future Gare du Nord a été entièrement digitalisé afin d'entamer une consultation publique avec les riverains et les usagers de la Gare SNCF². Au final, grâce à l'apport du jumeau numérique comme outil de concertation, plusieurs projets ont été retenus comme la végétalisation du toit de la gare, l'ouverture d'un bureau de Poste mais aussi la mise en place d'espaces culturels et sportifs.



Capture d'écran du site Virtual Singapore qui propose une modélisation 3D de la ville augmentée d'informations sémantiques, ici des données relatives à la thermie

La Ville de Chicago a fait appel à AutoDesk – spécialisée dans la Conception Assistée par Ordinateur (CAO) – pour réaliser un modèle 3D de la ville et de sa banlieue afin d'évaluer plusieurs scénarios environnementaux mais aussi pour mesurer l'impact de l'installation d'une liaison ferroviaire entre le centre-ville et la ville de O'Hare qui accueille l'aéroport international de la région. Mais l'une des villes les plus en avance sur la question du double numérique comme outil d'aide à la décision reste Singapour. Initié en 2015 avec la volonté de la Ville de fédérer l'ensemble de ses données autour d'un modèle 3D unique, Virtual Singapore, permettra, à terme, aux utilisateurs issus de différents secteurs de développer des outils et des applications liés à la ville intelligente afin de tester des hypothèses dans les domaines :

- De l'expérimentation virtuelle : comme par exemple identifier les zones non couvertes par la 4G dans la ville et ainsi mettre en évidence les poches d'inaccessibilité ;
- Des « bancs d'essais » virtuels : par la modélisation et la simulation des mouvements de foule il est possible d'identifier les zones à risques et de mettre en évidence, sur le modèle virtuel, les procédures d'évacuation ;
- De la planification et de la prise de décision : il est par exemple possible grâce à la modélisation 3D d'envisager le déploiement de panneaux solaires sur les toits des buildings en évaluant l'impact en termes de production d'énergie verte.
- De la collaboration entre la Ville et les différents centres de recherche scientifique travaillant sur la modélisation³, sur l'intelligence artificielle et les algorithmes, sur les SIG.

Le jumeau numérique peut également permettre de réaliser des simulations de catastrophes et aider à la décision du planificateur en cas de survenue. La société d'exploitation des eaux de l'Essex et du Suffolk en Angleterre,

Northumbrian Water, a travaillé avec l'Université de Newcastle à un projet de réalisation de jumeaux numériques baptisés « Twincident » permettant à la société de réaliser sur des modèles numériques des simulations de catastrophes comme la rupture d'une pipeline d'alimentation en eau potable ou les conséquences d'une tempête sévère sur les risques d'inondation. L'objectif est de simuler les évolutions sur 24 heures et d'anticiper les conséquences des incidents. Cette simulation permet à l'entreprise de réagir plus vite en cas d'avarie et de limiter les conséquences environnementales ainsi que les désagréments pour ses clients.

² Le recours aux jumeaux numériques semblent se répandre en ce qui concerne les gares.

³ A titre d'exemple, sur le site GitHub, on peut trouver une modélisation 3D en temps réels du système de transport public tokyoite. Véritable jumeau numérique, il permet de suivre en temps réel l'évolution du trafic dans la capitale nippone : Lien

HIDDEN CITY : LE PROJET DE JUMEAU NUMÉRIQUE DE LA VILLE DE KIRUNA EN SUÈDE

Kiruna est une ville située dans la partie la plus nordique de la Suède, érigée directement sur l'un des plus importants minerais de fer au monde. Pendant de nombreuses années, la mine située à proximité de la ville a contribué à l'essor de celle-ci. Cependant, à mesure que la mine prenait de l'expansion et que la fouille devenait profonde, le retrait du minerai se faisait de plus en plus près de la ville et les législations interdisent les activités minières à proximité des régions peuplées en raison des risques de dégradation des sols. Le gouvernement suédois a donc développé un plan pour déplacer la ville entière de 3,2 kilomètres vers l'est. Lors de la phase initiale de délocalisation, un expert de CGI à Kiruna a mis au point un concept novateur appelé Hidden City, qui prévoit l'utilisation de la technologie de réalité augmentée HoloLens de Microsoft, combinée à l'équipement et aux données d'un système d'information géographique (SIG) pour dresser une carte numérique et visualiser l'infrastructure souterraine. **Hidden City** offre à la ville de Kiruna une image souterraine précise en prévision du début des travaux de réparation de l'infrastructure. Lors de l'installation ou de la réfection des infrastructures souterraines, telles que la tuyauterie et les câbles électriques, les municipalités et les organismes gouvernementaux travaillent souvent à l'aveuglette. Lorsque disponibles, les cartes représentant les infrastructures sont généralement inexactes ou désuètes. Par conséquent, ce que les travailleurs découvrent lorsqu'ils creusent sur un site ne correspond pas toujours aux dessins. Cette situation entraîne de l'insatisfaction, des pertes de temps et d'argent, des interruptions de service et une congestion routière. Il y a de nombreux avantages à gérer l'infrastructure souterraine avec davantage de précision. La solution Hidden City sera bientôt utilisée dans toute la ville de Kiruna, y compris dans la vieille ville qui ne sera pas touchée par le déménagement. La solution Hidden City, lancée en 2017, a été conçue par le groupe de développement HoloLens de CGI à Umeå, en Suède.

Source : www.cgi.com



La ville de Kiruna en Suède

Le parc nucléaire français est également concerné par la problématique du jumeau numérique¹. En effet, depuis 2017 et dans le cadre du programme « [Grand Carénage 2014-2025](#) » qui vise à prolonger la durée de vie des centrales nucléaires, [EDF réalise une modélisation des 58 réacteurs qui constituent le parc nucléaire français](#). L'objectif est multiple. Le premier est d'obtenir une image en temps réel de l'état de santé de la centrale et des réacteurs. En dupliquant [l'ensemble des caractéristiques des centrales et en introduisant des paramètres liés aux matériaux utilisés](#) (béton, acier, etc.), les ingénieurs sont capables de faire vieillir artificiellement le jumeau de la centrale et d'en évaluer les conséquences sur la sécurité. Le double virtuel permet également, à l'image du simulateur de vol dans l'aéronautique, d'entraîner les ingénieurs et de former les nouveaux salariés. L'équipe peut ainsi être mise en situation en étant exposée à des dysfonctionnements multiples et variés et ses actions auront les conséquences correspondant à celles de la réalité. Ce qui est intéressant, dans le

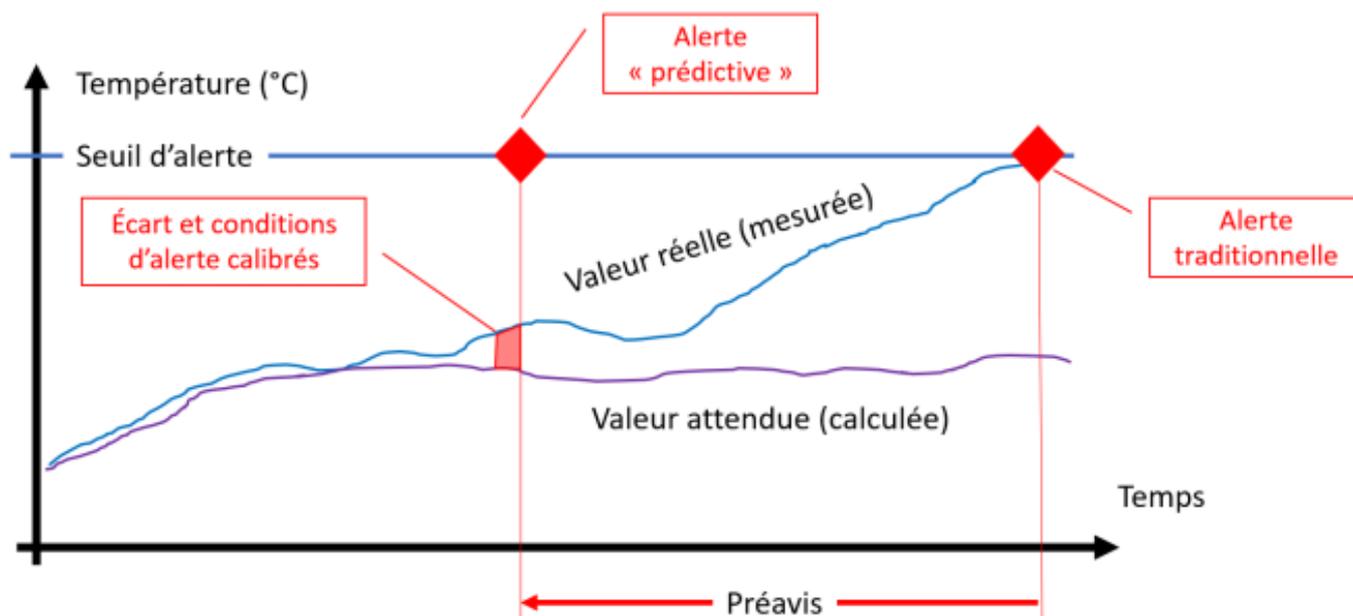
cadre de cet exemple, c'est que la modélisation mathématique des phénomènes physiques n'est pas suffisante pour construire un modèle parfaitement identique à la centrale numérique. Afin d'en améliorer l'image, EDF a été obligé d'intégrer à ses modèles des paramètres plus « humains » issus de l'expérience des ingénieurs présents dans les différentes centrales du parc français. Au final, ces jumeaux numériques seront mis à disposition de l'ensemble des parties prenantes à savoir tous les acteurs impliqués dans la gestion de la centrale : services techniques, fournisseurs, sous-traitants, etc.

¹ Tout comme [les usines de traitement de déchets nucléaires](#) qui disposent aussi de jumeau numérique.

5- L'importance de l'Internet des Objets dans la maintenance prédictive

L'un des grands enjeux auquel doit répondre le jeu numérique est celui de la maintenance. Le modèle historique est, ce que l'on appelle, la maintenance corrective. Il s'agit, dans ce modèle, de réparer, a posteriori, à la suite du constat d'une panne ou d'une dégradation, l'outil, la machine ou la ligne de production. Ce modèle est justifié lorsque les pièces de rechange ont un coût très faible, qu'elles peuvent être remplacées très facilement et que la panne n'impacte qu'à la marge l'utilisateur de la machine. Dans tous les autres cas de figure, la maintenance corrective à un coût. Selon [une étude du cabinet McKinsey](#), le passage d'une maintenance corrective à une maintenance plus anticipatrice permettrait

ristiques. Le calendrier d'intervention est ainsi fixé à l'avance et ces dernières sont réalisées même si aucune panne n'est constatée, faisant ainsi porter des coûts évitables à l'entreprise. La maintenance prédictive permet d'éviter les deux écueils précédents. En utilisant des bases de données de grande ampleur et de la modélisation algorithmique, « *la maintenance dite "prédictive" est une maintenance prévisionnelle et conditionnelle déclenchée en fonction de franchissement d'un seuil prédéfini ou sur alerte d'un système d'intelligence artificielle.* » A titre d'exemple, une alerte peut être créée à partir de l'évolution attendue d'un paramètre comme la température d'un composant. En croisant plusieurs paramètres et en les corrélant entre eux, il est possible de prévoir l'atteinte d'un seuil critique de température comme le montre le schéma suivant :



aux entreprises d'économiser 630 milliards de dollars d'ici 2025. Plusieurs facteurs entrent en jeu : une réduction des coûts de maintenance de 10 à 40 % et la réduction de moitié du nombre de pannes. Le recours à la maintenance préventive permettrait également d'allonger la durée de vie des machines réduisant ainsi le montant investi dans du nouveau matériel de 3 à 5 % par an. La maintenance préventive est de deux ordres : une maintenance prévisionnelle² qui est basé sur une anticipation statistique des pannes. Cette anticipation est possible par l'analyse de données collectées sur du matériel ayant les mêmes caracté-

L'alerte prédictive permet alors à l'équipe en charge du contrôle et de la maintenance d'anticiper la survenue de l'avarie et de rester en alerte lors de la période dite de préavis. « *La maintenance prédictive, par rapport à la maintenance préventive, permet de passer d'une logique de flux poussé à une logique de flux tiré. Le fournisseur n'intervient que lorsque des signaux émis par une machine reflètent une panne probable à court terme. C'est donc l'état réel de l'actif, et non un calendrier théorique, qui déclenche une intervention.* »

Pour arriver à ce résultat il est nécessaire de mettre en place une stratégie de maintenance prédictive basée sur :

- [l'implantation de capteurs](#) permettant de collecter des millions de données en temps réels et de

² La maintenance prévisionnelle est, selon la norme NF EN 13306 X 60-319, une « maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ». Source [Wikipédia](#).

les stocker afin d'être analysées plus en amont et améliorer la modélisation virtuelle du matériel.

- la modélisation d'un schéma de panne. En se basant sur l'historique de fonctionnement des machines, au-delà des symptômes, il est possible d'identifier les causes racines de la panne.
- le développement et l'optimisation d'algorithmes prédictifs qui déterminent les seuils d'alerte. C'est l'apprentissage automatique ou machine learning. Des technologies comme Apache Mahout ou SparkMLlib sont appropriées pour ce cas.

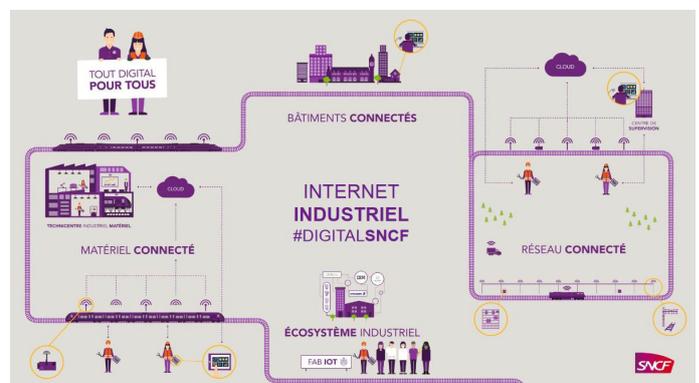
ESI GROUP PRINCIPAL CRÉATEUR MONDIAL DE LOGICIELS ET SERVICES DE PROTOTYPAGE VIRTUEL

« Spécialiste en physique des matériaux, ESI a développé un savoir-faire unique afin d'aider les industriels à remplacer les prototypes réels par des prototypes virtuels, leur permettant de fabriquer puis de tester virtuellement leurs futurs produits et d'en assurer leur pré-certification. Couplé aux technologies de dernière génération, le Prototypage Virtuel s'inscrit désormais dans une approche plus large du Product Performance Lifecycle™, qui adresse la performance opérationnelle du produit tout au long de son cycle de vie complet de fonctionnement, du lancement au retrait. La création de Jumeaux Hybrides (Hybrid Twin™) intégrant à la fois la simulation, la physique et l'analyse de données permet de créer des produits intelligents, notamment avec les objets connectés, de prédire leur performance et d'anticiper leurs besoins de maintenance. Les solutions d'ESI permettent aux grands donneurs d'ordres et aux entreprises innovantes de toutes tailles de s'assurer que leurs produits passeront les tests de pré-certification – et ce, sans qu'aucun prototype réel ne soit nécessaire – les rendant plus compétitifs. Le Prototypage Virtuel permet aux produits industriels de devenir intelligents et autonomes, accompagnant les fabricants industriels dans leur transformation numérique. »

Source : www.esi-group.com

Concrètement, le recours au jumeau numérique pour anticiper les pannes et réduire les coûts d'entretien du matériel permet au groupe Kone de [suivre et prédire les pannes de ses escalators et de ses ascenseurs](#). En installant des capteurs qui enregistrent en continu l'activité des ascenseurs et en remontant l'ensemble de données aux techniciens, ces derniers, grâce à un algorithme prédictif et à l'intelligence artificielle présente dans la modélisation virtuelle des ascenseurs, peuvent intervenir avant que la panne ne se déclenche. L'entreprise a choisi de s'appuyer sur la plateforme d'intelligence Watson d'IBM. Quant aux capteurs connectés qui truffent ses ascenseurs, ils relèvent plus de 200 paramètres critiques – ouverture et fermeture des portes, lumière, arrêt automatique, distance et durée des courses, niveau de bruit, vibrations, température, pression de l'air, humidité, etc. – transmis en temps réel. [ThyssenKrupp](#) également spécialisé dans les ascenseurs utilise également le jumeau numérique pour ses problématiques de maintenance et de contrôle de son parc.

La SNCF s'est lancée dans l'utilisation de jumeaux numériques pour à terme économiser près de 537 milliards de dollars à horizon 2020 selon Guillaume Pépy. C'est pourquoi la SNCF a décidé en 2016 de déployer des capteurs IoT sur l'ensemble du réseau SNCF (50 000 km de voies, 2 200 systèmes d'aiguillage...). Ce vaste plan d'investissement - près de 300 millions d'euros - a pour objectif de mettre en place une maintenance prédictive. Parmi les capteurs IoT mis en place, il y a celui relevant les données sur les systèmes d'aiguillage des trains. Il s'agit d'alerter la SNCF lorsqu'un seuil d'utilisation est franchi. Ce qui déclenche l'intervention d'une équipe pour graisser le matériel. Ces capteurs reviennent dix fois moins cher qu'une maintenance préventive classique.



Une étude menée par IoTAnalytics en 2017 recense plus de 100 entreprises technologiques qui ont implémenté des solutions de maintenance prédictive en s'appuyant sur l'[Internet Industriel des Objets \(IIoT\)](#).

Parmi elles, on retrouve les gros acteurs de l'industrie et du numérique comme [IBM](#), l'Allemand [SAP](#), [Siemens](#), Microsoft ou [General Electrics](#). IBM (avec IBM Watson) et Microsoft (avec [Azure](#)) ont décidé de proposer des offres intégrées à l'attention des industries en misant sur le Digital Twin as a Service (DTaaS). IBM développe une offre intitulée Watson as a Service qui met à disposition des industries et des entreprises sa technologie d'intelligence artificielle Watson couplée à l'internet des objets ([Watson IoT](#)). IBM propose ainsi plusieurs produits : [Rhapsody](#) qui permet de modéliser et designer les activités des systèmes complexes afin de réduire les coûts et d'optimiser le déploiement. [Engineering Insights](#) virtualise et optimise le cycle de vie du produit.

Mais le futur de la maintenance prédictive pourrait trouver son inspiration dans l'univers de la santé. [Prophesee](#), s'est d'abord adressée aux personnes en déficience visuelle en proposant une [rétine artificielle capable de « redonner la vue aux aveugles »](#), l'entreprise se tourne désormais vers l'industrie et plus particulièrement la maintenance prédictive, grâce à la [neuromorphique](#). Contrairement à une caméra classique qui enregistre image après image, la caméra bio-inspirée peut mesurer en temps réel les fréquences et amplitudes de vibration d'une machine. À l'instar des cellules rétiniennes, ses 300 000

pixels sont asynchrones et indépendants : chacun se déclenche seulement s'il détecte un changement. Beaucoup plus précis (10 000 images par seconde), le capteur consomme moins d'énergie et de données.

6- Demain, tous dotés d'un double numérique ?

La médecine du futur promet une médecine individualisée, personnalisée grâce à laquelle, chaque patient disposera d'un traitement qui sera parfaitement adapté à la pathologie dont il est victime. Le [rapprochement entre génomique et numérique](#) laisse entrevoir des progrès phénoménaux en matière de lutte contre les cancers, grâce à l'utilisation conjointe des techniques d'intelligence artificielle et celles relatives à la meilleure compréhension de notre génome et de celui des tumeurs cancéreuses. Cependant, ces progrès permettent d'améliorer les traitements contre les cancers mais restent dans un paradigme de médecine curative. Bien sûr, certaines de ces avancées permettent également d'anticiper de manière fine la survenue de cancer ou de maladies graves. De plus en plus, et ce depuis près de 20 ans, on constate que l'univers de la médecine et de la santé en général s'intéresse à tout ce qui peut permettre de comprendre le fonctionnement du corps humain (depuis les cellules jusqu'aux organes) afin



de mieux anticiper – pour éviter ou mieux traiter – la survenue de maladie ou encore la réponse des malades aux traitements. Deux voies semblent percer : l'approche « on chips » permet la reproduction physique d'un organe dans l'univers du microprocesseur et de la puce électronique ; l'approche *in silico* qui, de son côté, reproduit et simule le fonctionnement d'une cellule, d'un organe, d'un système par l'intermédiaire de la programmation informatique. Dans les deux cas, l'objectif est de rendre compte, le plus fidèlement possible, du fonctionnement d'un système biologique.

Organ on chips

L'approche « on chips » part de l'idée qu'il est possible de recréer, sur une puce de petite taille, un environnement moléculaire et cellulaire reproduisant un organe vivant, son fonctionnement et son rapport au système biologique dans son ensemble. Le recours à cette approche pallie, sous certaines conditions, les limites de l'approche classique de la recherche médicale, à savoir l'approche *in vivo* (les recherches ou les examens sont pratiqués sur un organisme vivant, que ce soit l'être humain ou des animaux cobayes) et l'approche *in vitro* (les recherches sont pratiquées sur des cellules ou des tissus cultivés dans de boîtes de Pétri) : pour les premières, au-delà de la problématique éthique des tests sur animaux, les expériences *in vivo* sont coûteuses, la transposition des résultats de l'animal à l'homme est délicate pour bon nombre de pathologies. Les essais *in vitro* de leur côté ne permettent de mettre en évidence que des réactions partielles sur un micro-organisme ou un organisme sans prendre en compte les interactions entre ces organismes et le reste des cellules humaines. Les résultats deviennent alors difficilement transposables à l'homme et généralisables.

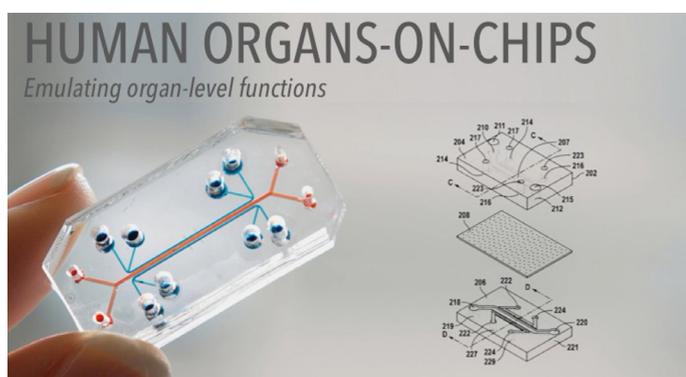


Photo : Wyss Institute at Harvard University

Le [Wyss Institute](#) d'Harvard est l'un des acteurs majeurs de la recherche sur l'application des « organes sur puces » (organs-on-chips). L'idée de cette technologie est de dupliquer et de miniaturiser les caractéristiques physiques et physiologiques d'un organe quelconque sur une puce électronique afin de simuler le comportement de l'organe et de le soumettre à des événements extérieurs afin d'en évaluer les conséquences sur le fonctionnement de celui-ci. Concrètement, chaque « organe sur puce » est composée d'un polymère souple et transparent de la taille d'une clé usb contenant des canaux micro fluidiques bordés de cellules vivantes spécifiques à un organe humain et interfacées à un système vasculaire artificiel tapissé de cellules endothéliales humaines (la couche la plus interne des vaisseaux sanguins en contact direct avec le sang). Des forces mécaniques sont alors appliquées sur l'environnement physique des organes vivants. Le Wyss Institute travaille plus particulièrement sur les organes tels les poumons, le foie ou encore le cerveau. Ces « organes » constituent un micro-environnement idéal pour étudier, à l'échelle moléculaire ou cellulaire, de nouvelles cibles thérapeutiques *in vitro*. Ils peuvent également être utilisés pour cultiver un microbiome vivant pendant de longues périodes en contact direct avec des cellules intestinales humaines vivantes afin de mieux comprendre comment ces microbes influent sur la santé et la maladie, ou pour modéliser des infections pulmonaires à virus grippal afin d'identifier ses vulnérabilités. Ils permettent aussi d'évaluer l'impact de facteurs environnementaux extérieurs comme par exemple l'influence de la fumée de cigarette sur le poumon et les capacités respiratoires d'un non-fumeur vivant à proximité d'un fumeur en simulant l'inhalation de la fumée de cigarette. Parmi les organes modélisés grâce à cette technologie, le cerveau figure en bonne position. En effet, les recherches concernant cet organe se heurtent au fait qu'il est très compliqué d'étudier très précisément les fonctions de chacune de ses parties, leurs influences respectives et leur importance dans le bon fonctionnement du cerveau sur des animaux ou des personnes vivantes. Aussi, le recours à la simulation « sur puce » permet de mieux comprendre les mécanismes inhérents à son fonctionnement. Des chercheurs du Wyss Institute ont ainsi publié [une étude dans la revue Nature Biotechnology](#), en 2018, visant à étudier le rôle et le fonctionnement de la [barrière hémato-encéphalique](#) (BHE) qui permet d'isoler le système nerveux central de la circulation sanguine. Cependant, loin d'être une simple barrière physique, elle interagit directement avec le cerveau, régulant en partie son fonctionnement, grâce à l'interaction entre les microcapillaires, les cellules gliales (astrocytes et péricytes) et les neurones. Les approches permettant d'expliquer cette interaction sont trop simplistes (méthode *in vitro*) ou trop complexes à reproduire (méthode *in vivo*). Les

chercheurs se sont donc tournés vers une troisième voie, celle de l'utilisation de puces électroniques sur lesquelles ils sont venus implanter des canaux microfluidiques. Le cerveau étant un organe trop complexe, ils ont fait le choix de modéliser 3 fonctions sur trois puces différentes : deux puces simulant le fonctionnement de la barrière hémato-encéphalique, une simulant le cerveau, les trois connectées en série. Les 2 puces BHE sont constituées d'un canal entouré de cellules endothéliales, à travers lequel un fluide imitant le sang peut circuler; une membrane poreuse sépare ce canal d'un autre, parallèle, contenant des péricytes et des astrocytes, et perfusé avec du liquide céphalo-rachidien artificiel (aCSF). La « puce cérébrale » possède un canal aCSF similaire, une autre membrane semi-perméable et enfin un compartiment contenant des neurones et des cellules de soutien (astrocytes): il s'agit alors de la reproduction la plus fidèle possible du tissu cérébral présent in vivo. Afin de valider scientifiquement cette reproduction fidèle du fonctionnement d'une partie du cerveau, les chercheurs ont alors testé les réponses du cerveau suite à l'administration de métamphétamines. Les résultats obtenus ont été les mêmes que ceux observés in vivo à savoir une altération de l'intégrité de l'endothélium vasculaire, entraînant le passage de molécules potentiellement nocives. Ces résultats ouvrent des perspectives incroyables, selon les auteurs, en matière de recherche sur la compréhension du fonctionnement du cerveau et plus particulièrement sur les altérations de certaines zones du cerveau et des liens de communications entre elles dues à la consommation de drogues.

Au-delà de la recherche scientifique sur le sujet, des start-up prennent position. Ainsi, EmulateBio propose un système complet d'« émulateur humain » composé de puces, d'équipements physiques (sous forme de modules additionnels) ainsi que d'applications. La puce peut être configurée pour imiter les poumons, le foie, l'intestin, les reins et le cerveau. Elle peut également être utilisée comme plateforme pour étudier diverses maladies. Elle recrée le microenvironnement cellulaire du corps, notamment les interfaces entre les tissus, le flux sanguin et les forces mécaniques auxquelles ils sont soumis. La start-up propose également un ensemble de protocoles permettant d'utiliser sa solution : de la culture cellulaire (de foie, de rein, de poumons), de l'analyse d'image (par immunofluorescence par exemple) ou encore l'analyse d'effluents (comme la quantification du glucose, des triglycérides, du cholestérol, etc.).

Les enjeux pour les années à venir sont d'être capable

de fournir des modèles d'organes sur puces fiables mais aussi combinables de manière à reconstituer un réseau d'organes sur puce, montés en série, sur le modèle du corps humain, ce que l'on peut appeler « body on chips » ou « corps sur puce ». Ce faisant, il sera alors possible de simuler, afin d'évaluer, l'ensemble des effets d'un traitement médicamenteux particuliers sur plusieurs organes en même temps ou de simuler les effets secondaires d'un traitement. Le Wyss Institute est bien entendu à la pointe de la recherche dans ce domaine. Le MIT a, de son côté, conçu une réplique sur puce d'une partie du corps humain en assemblant 10 micropuces simulant 10 organes afin de tester l'impact d'un traitement sur les organes non concernés par ce dernier. Comme l'indiquent les auteurs, les essais cliniques sur animaux sont compliqués pour ce genre de tests puisque les effets sont principalement idiosyncratiques, donc non généralisables. Par ailleurs, ces modèles permettent aussi de tester les prédispositions génétiques face à un traitement ou encore de simuler la résistance aux antibiotiques. Avec entre un million et deux millions de cellules par organe prélevées sur les patients, les « organes sur puce » ne reproduisent que les fonctions importantes que les chercheurs veulent simuler. Ce faisant, les chercheurs du MIT, en association avec la DARPA (l'Agence américaine pour la recherche militaire), ont pour objectif de créer ce qu'ils appellent le « physiome on chips », c'est-à-dire une réplique sur puce de la physiologie de chaque patient afin de proposer une médecine personnalisée, efficace et, sur le long terme, moins coûteuse. D'autres chercheurs travaillent dans le même sens, notamment dans la lutte contre le cancer en évaluant, sur puce, l'impact des traitements chimiothérapeutiques sur les cellules cancéreuses et leur environnement.

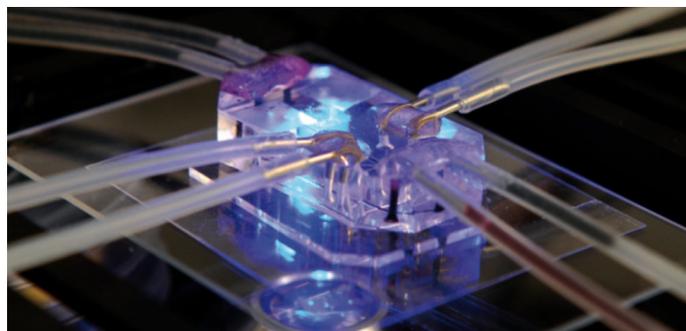


Photo : Wyss Institute at Harvard University

Si la médecine de demain nous promet d'avoir, physiquement, des doubles de chacun de nos organes nous permettant de visualiser leur fonctionnement et d'agir précisément sur leurs dysfonctionnements, une autre approche, basée sur la numérisation et les données, explose. L'approche in silico promet une

médecine personnalisée basée sur l'utilisation de doubles numériques du système biologique du vivant.

In Silico

In silico est le terme utilisé par les scientifiques pour décrire la modélisation, la simulation et la visualisation des processus biologiques et médicaux grâce à l'informatique. L'émergence de la médecine in silico est le résultat de 20 ans d'avancées dans le domaine des sciences informatiques appliquées à la médecine.

La modélisation cartographie les éléments d'un système biologique, la simulation cherche à rendre compte de manière la plus fidèle possible comment le système évolue dans le temps en fonction de certaines stimulations et la visualisation présente les prédictions sous forme de graphique.

Plusieurs avantages :

- Permet de simuler différents traitements pour tester des hypothèses de manière virtuelle sans avoir recours à l'animal ou à l'humain
- Permet également une médecine plus personnalisée offrant aux médecins la possibilité de tester des plans de traitement différents afin de mieux les individualiser permettant un meilleur dosage des médicaments

Grâce aux quantités importants de données de santé collectées ainsi qu'aux progrès en intelligence artificielle (DL, ML), il est possible de simuler des processus biologiques de manière virtuelle comme le système circulatoire, le système neuronal, le système endocrinien ou encore le système métabolique. A terme, avec l'accélération des capacités informatiques et la quantité toujours plus importantes de données (ainsi que la qualité), il sera possible de simuler l'ensemble des fonctions du corps humain en un seul jumeau numérique.

L'intelligence artificielle permettra également de trouver des réponses à la question « pourquoi un tel traitement fonctionne sur tel patient et pas sur tel autre ? ». En modélisant les particularités propres à chacun, il sera alors possible de déterminer avec précision comment un corps réagit à un traitement mais aussi de réduire les risques associés au traitement. C'est à cette question que s'adresse [NovaDiscovery](#), société lyonnaise qui a développé un outil [The Effect Model](#) afin de prédire l'efficacité d'un médicament ou d'un traitement à partir d'une simulation

sur un jumeau numérique avant l'administration à un patient. L'entreprise est l'une des pionnières dans le domaine des essais cliniques *in silico* et travaille notamment avec de grands groupes de l'industrie pharmaceutique lui faisant économiser des millions de dollars. Ce que propose Nova est un changement radical de paradigme dans la R&D pharmaceutique. Ce nouveau paradigme s'incarne dans un triptyque qui vise la bonne cible (*right target*) pour le bon patient (*right patient*) et qui démontre sa valeur (*right value*). Ce qui signifie proposer des traitements beaucoup plus rapidement efficaces, qui coûtent moins chers et parfaitement adaptés au patient et qui font preuve d'efficacité donc de valeur pour l'industrie pharmaceutique et l'ensemble des acteurs de la santé. L'exemple de la prédiction de [rejet lors d'une transplantation de poumon](#) est, en ce sens, probant. Le mois dernier, [Dassault System a reçu le feu vert des autorités de santé américaines pour le rachat de l'entreprise Medidata](#) (pour 5,8 milliards de dollars) spécialisée dans l'édition de logiciels médicaux, l'éditeur de logiciels et de fabrication assistée par ordinateur. Par ce rachat, Dassault System renforce sa position dans le secteur médical (à travers sa plateforme [3Dexperience](#)) notamment sur le front de la création de jumeau numérique. Comme le souligne [le communiqué de presse publié](#) suite à l'acquisition : « *L'expertise clinique de Medidata et ses solutions Cloud permettent le développement et la commercialisation de thérapies plus intelligentes pour plus de 1 300 clients dans le monde, dont des sociétés pharmaceutiques et biotechnologiques, des organismes de recherche sous contrat, des centres et des sites médicaux. Ses solutions permettent d'augmenter l'efficacité et la qualité de l'ensemble des programmes de développement clinique en améliorant la prise de décision, en accélérant l'exécution et la supervision des processus, en limitant le risque opérationnel, en réduisant les coûts et en adaptant les stratégies des essais cliniques. Treize des quinze médicaments les plus vendus en 2018 reposent sur la technologie de Medidata.* »

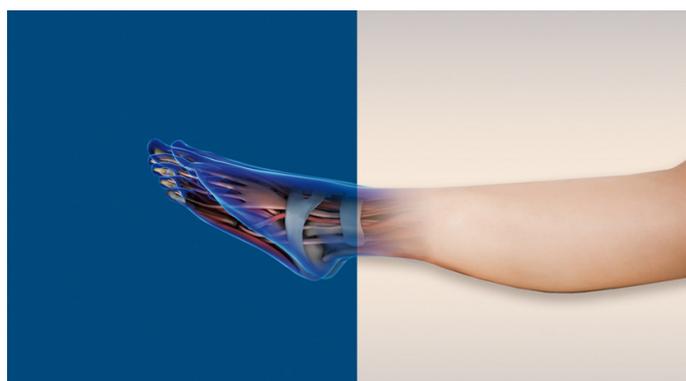


Photo : www.3dexperienclab.3ds.com

Hummond fournit un [modèle de la physiologie humaine](#) depuis les organes entiers jusqu'aux molécules individuelles. Il comporte plus de 1 500 équations et 6 500 variables telles que les fluides corporels, la circulation, les électrolytes, les hormones, le métabolisme et la température de la peau. HumMod a pour but de simuler le fonctionnement de la physiologie humaine et prétend être le modèle mathématique de la physiologie humaine le plus sophistiqué jamais créé. Voici une [liste des projets](#) en cours utilisant le simulateur [Just Physiology](#). Parmi eux, nous pouvons par exemple retenir le projet intitulé « [Mechanisms of Blood Pressure Salt Sensitivity: New Insights from Mathematical Modeling](#) » qui utilise la plateforme HumMod pour modéliser les mécanismes de sensibilité au sel sur certaines maladies chroniques (comme les maladies cardiaques). Pour les chercheurs, la modélisation mathématique et le recours au jumeau numérique proposé par HumMod permet d'introduire certains dysfonctionnements, notamment des reins, que les études expérimentales ne permettent pas.

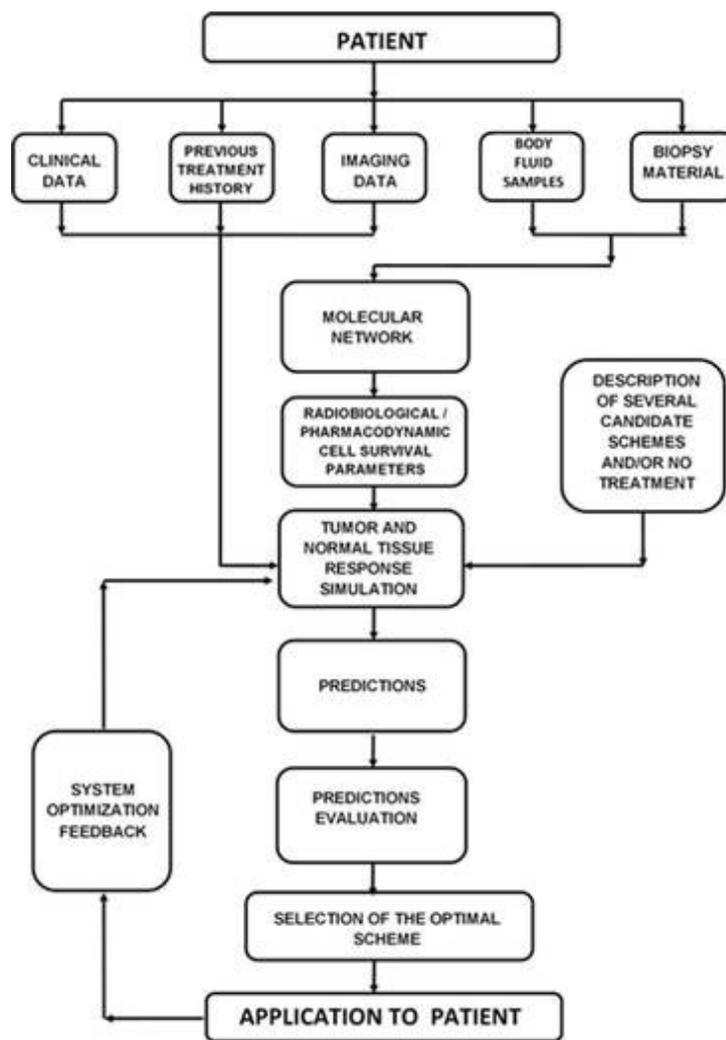
[Anatoscope](#) est une entreprise technologique montpelliéraine spécialisée dans la réalisation de jumeaux numériques clés en main permettant aux praticiens de simuler sur un avatar numérique de leur patient les effets de médicaments, de mouvements particuliers, de protocoles de soins, etc. L'objectif est de permettre aux médecins de simuler des traitements (médicamenteux ou physiques) afin d'anticiper leurs effets avant de les proposer aux malades. Anatoscope est spécialisée dans la réalisation d'avatars numériques concernant la face et la dentition (il est par exemple possible de modéliser les effets d'un appareil ortho-

dontique sur la mâchoire d'une personne), l'univers orthopédique (et notamment la réalisation de prothèses et orthèses parfaitement adaptées aux patients comme l'est également [Digital Orthopaedics](#)) et enfin celui de la radiologie. [OptimoMedical](#) est une medtech suisse qui travaille sur la modélisation individuelle de l'œil (jumeau numérique optique) en développant un produit Optimeyes qui va aider les professionnels de l'oeil (ophtalmologistes, optométristes, chirurgiens, etc.) à opérer les patients victimes de cataracte en offrant la possibilité aux chirurgiens de

simuler l'opération sur un jumeau numérique et d'évaluer les conséquences sur l'œil de chacune des actions. Il peut ainsi parfaitement contrôler les paramètres d'astigmatisme qui peuvent rendre la vision floue et inconfortable après l'opération.

Dans le domaine oncologique, l'approche in silico permet également des avancées en matière de compréhension des cancers et de leurs évolutions différentielles selon les patients. [Oncosimulator](#) est un [projet porté par l'Université d'Athènes](#) et soutenu par l'Union Européenne qui propose une plateforme expérimentale in silico, ainsi qu'un outil avancé d'aide à la décision médicale, en collaboration avec plusieurs centres de recherche en Europe

et au Japon afin d'optimiser le traitement du cancer. L'Oncosimulator est un logiciel intégré qui simule la réponse tumorale in vivo à des traitements dans un environnement d'essai clinique. Il vise à soutenir la prise de décision clinique pour chacun des patients pris individuellement. Comme le montre le schéma suivant, il s'agit de travailler à partir de sources d'informations de différents types, aussi bien biologiques, comme des prélèvements et des échantil-



A synoptic outline of the Oncosimulator

lons de tissus du patient que numériques, comme des informations sur son passé médical, ses données de santé ainsi que des données issues des images de radiologie ou d'IRM. Après [7 grandes étapes](#), les médecins seront en mesure de proposer au patient un traitement parfaitement adapté à leur cancer³, réduisant ainsi les effets secondaires, les erreurs médicales et les souffrances des malades. Les Français de la société [TheraPanacea](#), incubée dans la [pépinière de l'Hôpital Cochin à Paris](#), utilisent également la simulation numérique dans les protocoles de radiothérapie. En faisant converger les dernières avancées en matière de génomique, d'informatique (intelligence artificielle par Machine Learning et Deep Learning), de biologie computationnelle et de big data⁴, l'équipe du Professeur Paragios, offre aux radiothérapeutes

3 *Trois cancers sont concernés : le néphroblastome, le cancer du sein et la leucémie lymphoblastique aiguë.*

4 *Certains militent même pour [l'utilisation de la technologie blockchain](#) pour sécuriser et fiabiliser les données. Selon une [étude publiée dans Nature](#) en 2016, 75% des scientifiques n'arrivent pas à reproduire les expérimentations d'autres chercheurs et 50% d'entre eux n'arrivent pas à reproduire leurs propres expériences faute de fiabilité dans les données et les protocoles. Mixer approches in silico et blockchain permettrait de surmonter cette « crise de reproductibilité » essentielle dans l'univers de la recherche médicale.*

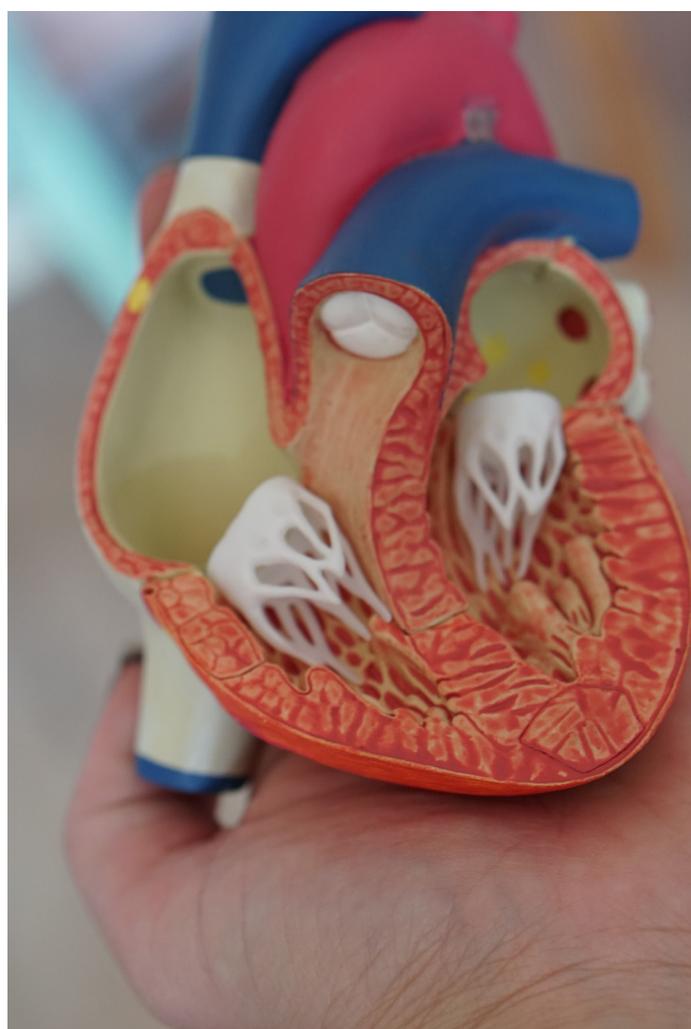


Photo by Robina Weermeijer on Unsplash

et aux oncologues un outil ([Art-Plan Annotate](#)) de dernière génération qui est capable, en temps réel, [de créer un jumeau numérique d'un patient et de sa tumeur](#). Il permet alors de réaliser des radiothérapies individualisées, à la volée. La prouesse de cette solution est, par l'intermédiaire de la modélisation numérique, de proposer une approche holistique du traitement des cancers liant les niveaux macro (le patient), micro (la tumeur) et nano (les molécules).

On retrouve l'approche in silico dans l'univers de la prothèse. [PrediSurge](#) est une startup française issue de la recherche et de la collaboration entre le CHU de Saint-Etienne et des chercheurs de l'Ecole des Mines, créée en 2017, dont l'objectif est d'aider les chirurgiens lors des implantations de stents dans les aortes de cœurs malades. Aujourd'hui, le chirurgien, pour implanter une endoprothèse aortique, doit réaliser des mesures « à l'œil » sur des images issues de scanners et en fonction de son expérience, prévoir le comportement du stent dans l'aorte. Demain, grâce à l'utilisation de jumeaux numériques de l'aorte et du stent, il pourra simuler, à partir d'une programmation algorithmique qui intégrera des données relatives au patient, notamment via à une cartographie 3D de son cœur mais aussi des données cliniques et médicales, permettant de visualiser avant l'intervention la zone à opérer et anticiper les modifications de l'aorte pendant l'acte chirurgical. Toujours dans l'univers de la cardiologie, [Siemens Healthineers](#) a récemment développé un « Digital Twin » de cœur en collaboration avec le CHU de Bordeaux. En mettant au point des algorithmes poussés, Siemens Healthineers a pu mettre au point [un outil de resynchronisation cardiaque](#). Sur la base de données anatomiques et fonctionnelles du patient, issues de l'imagerie par résonance magnétique, de l'électrocardiogramme, de l'échographie, cette solution permet de représenter numériquement le cœur du patient. En amont de l'opération, le médecin peut ainsi simuler virtuellement le traitement thérapeutique, afin de planifier l'examen avec une plus grande précision et choisir l'option la plus bénéfique pour le patient. C'est également l'objet de la start-up bordelaise [InHeart](#) qui propose aux chirurgiens des modélisations 3D du cœur de leurs patients, en très haute définition et avec une parfaite fidélité, permettant ainsi au praticien de connaître à l'avance la structure du cœur sur lequel il va devoir intervenir. L'[Université Johns-Hopkins de Baltimore](#) a publié en août une étude sur les potentiels que représente le jumeau numérique d'un cœur de malade victime de [fibrillation auriculaire](#). Une des techniques utilisées pour soigner cette maladie consiste en une ablation par cathéter des tissus dé-

fectueux. Un ou plusieurs cathéters sont insérés dans les vaisseaux sanguins afin d'étudier les irrégularités des battements, puis de détruire les tissus incriminés par radiofréquences. Cette méthode provoque «souvent plusieurs échecs chez les patients atteints de fibrillation auriculaire». Les chercheurs ont donc créé un cœur virtuel en mesure de reproduire les signaux électriques envoyés par les oreillettes, qui sont à l'origine des battements irréguliers et d'en identifier les origines et leurs caractéristiques car ces irrégularités se « déplacent » de tissus en tissus. Le recours au jumeau numérique permet de reproduire les anomalies des battements et de prédire les déplacements des anomalies. Le chirurgien va alors pouvoir les détruire virtuellement avant de reproduire cette destruction sur le cœur du patient. [Nurea](#) développe une solution inédite en médecine : des logiciels d'aide à la décision et de personnalisation d'implants pour la chirurgie cardiovasculaire et thoracique (ex : endoprothèses aortiques, implants de trachée, etc.). Grâce à une intelligence artificielle, couplée à des réseaux de modélisation numérique et du traitement d'images médicales, Nurea réalise des cartographies du système vasculaire ; différentes informations sont ainsi fournies de manière automatique aux chirurgiens à partir des scanners lui permettant de fiabiliser son diagnostic et sa décision d'opérer ou non, comme dans le cas d'anévrismes aortiques.

Autre domaine qui investit massivement l'approche *in silico* : la neurologie. En effet, le cerveau est l'un des sujets qui attise le plus de recherches scientifiques et ce, grâce notamment à l'intersection de plus en plus forte entre les neurosciences et l'informatique. La neuroinformatique a pour objectif de mobiliser les outils et dernières innovations informatiques et les connaissances de plus en plus pointues des neurosciences afin de cartographier l'ensemble

du cerveau et des réseaux de neurones permettant de comprendre leur fonctionnement et appréhender au mieux les maladies neuro-dégénératives et neurologiques. L'un des projets emblématiques est le [Human Brain Project](#), projet d'envergure européen (il est l'un des deux récipiendaires du FET Flagships soutenu par l'Union Européenne) qui vise à créer de nouveaux outils permettant une meilleure connaissance du cerveau et de son fonctionnement. Pour cela, le consortium de chercheurs mise sur l'informatique, la bio-informatique et sa puissance (notamment via de superordinateurs) afin d'assembler les données neuroscientifiques du monde entier au sein d'un modèle et de simulations du cerveau humain. Le projet vise à créer une interface entre l'information génétique, les réactions moléculaires, la biologie et les mécanismes de la pensée. Parmi les maladies visées, l'épilepsie. Le projet [Virtual Brain](#), du professeur Jirsa, directeur de [l'Institut des Neurosciences des Systèmes à la](#)

[Timone](#) (Inserm, Aix-Marseille Université) vient d'être lancé dans 12 hôpitaux test. L'essai clinique qui durera, en tout, 4 ans, vise à tester un [logiciel de simulation du cerveau humain](#) en neurochirurgie de l'épilepsie. En

créant un jumeau numérique pour environ 400 patients victimes de cette maladie, les chercheurs et les médecins vont pouvoir simuler la dynamique des ondes cérébrales dans l'intégralité du cerveau des patients, après et avant la crise d'épilepsie. Différentes hypothèses vont pouvoir être testées afin de circonscrire la zone opérable et évaluer si l'opération sera bénéfique au patient.



Photo by Bret Kavanaugh on Unsplash

CONCLUSION

Selon Gartner, le Digital Twin serait pleinement dans la phase des « peak of inflated expectations » c'est-à-dire à un moment de son Histoire technologique où les attentes et espoirs fondés dans cette technologie se traduisent par une offre très importante (de nombreuses entreprises ou start-up offrant des solutions dans de nombreux secteurs d'activité) et par une surmédiatisation des initiatives. Selon Gartner, toujours, les jumeaux numériques devraient mettre entre 5 et 10 ans pour atteindre le fameux « plateau de productivité » c'est-à-dire la phase de maturité technologique, celle associée à des applications qui ont trouvé leur marché (qu'il soit de niche ou grand public). Parce que [les promesses du jumeau numérique](#) sont grandes :

- Évaluation des capacités actuelles et futures d'un système au cours de son cycle de vie.
- Découverte précoce des déficiences de performance du système. Pour ce faire, les opérateurs procèdent à une simulation des résultats avant que les processus physiques et les produits ne soient développés.
- Optimisation du fonctionnement, de la fabrication, des inspections, et par effet de levier de la durée de vie.
- Amélioration continue des designs et des modèles grâce aux données collectées

Quel que soit le secteur d'activité dans lequel est mise en place cette technologie, ce sont ces promesses qui permettent d'envisager l'avenir du jumeau numérique sereinement. Toutefois, même s'il est raisonnable d'envisager une forte baisse des coûts de réalisation puis de maintenance du jumeau numérique, le prix à payer pour avoir son propre double numérique reste élevé. En effet, la mise en œuvre d'un jumeau numérique nécessite des moyens humains et financiers non négligeables. Il faut disposer d'équipes organisées et convaincues mais aussi et surtout de données de très bonne qualité, sous peine de [transformer un projet de jumeau numérique en mutant numérique](#).

Demain, ou après-demain, nous vivons sans doute dans un monde ultra-digitalisé. Nous transporterons sur nos terminaux numériques mobiles notre propre jumeau numérique, composé de millions de données personnelles, à la fois physiques mais aussi psychologiques, qui nous permettra, par exemple, de simuler l'impact d'une décision sur notre bien-être (physique et psychique) avant de la prendre définitivement.

Ce jumeau permettra également à des personnes tierces d'intervenir rapidement en cas d'accident par l'identification de l'ensemble de nos caractéristiques. Couplées au Dossier Médical Partagé (l'ensemble de nos données de santé et d'antécédents), le jumeau numérique pourrait permettre de sauver des vies.

D'un point de vue plus global, l'existence de jumeaux numériques dans quasiment tous les secteurs de la vie quotidienne, permettra à chacun d'entre nous de prendre des décisions de manière plus éclairée et donc plus efficace. En réduisant le risque d'erreur, nous rendrons notre quotidien plus sûr, moins soumis aux aléas. En revanche, cette digitalisation du quotidien, depuis l'environnement dans lequel nous vivons jusqu'à nos données les plus intimes doit être accompagnée de garde-fous. Avec les offres proposées par les géants d'internet (IBM et Microsoft et leurs solutions DTaaS), les GAFAM détiendront demain, en plus des données qu'elles collectent sur le web et qu'elles enregistrent *in real life*¹, des informations qualifiées parfaitement identiques à la réalité. Une entreprise qui utilise ces services pour digitaliser une usine ou une chaîne logistique prend le risque de voir ses données utilisées à d'autres fins qu'à celles prévues initialement. La lecture des Conditions Générales d'Utilisation comme des clauses relatives à la propriété et à l'utilisation des données deviendra un passage obligé que nous ne pourrons plus nous permettre de valider à l'aveugle.

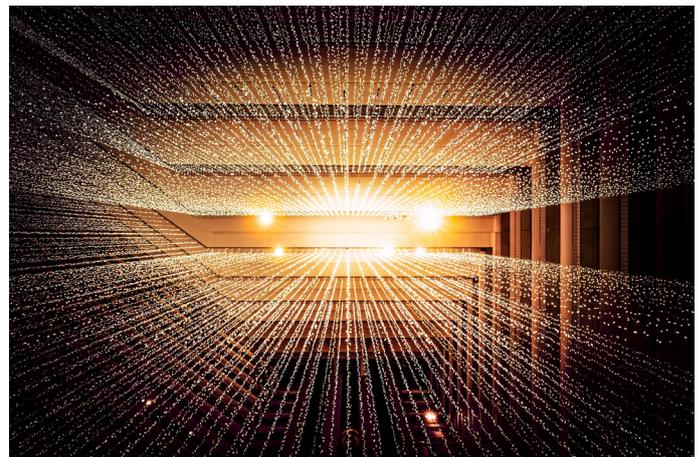


Photo by Joshua Sortino on Unsplash

¹ Grâce aux objets connectés et aux enceintes intelligentes.

Auteur

Alexandre BERTIN
Responsable Veille et Prospective chez Unitec

Pour aller plus loin...

[Deloitte, Industry 4.0 and the digital twin, Manufacturing meets its match](#)

DOSSIER DE
VEILLE

by

UNITEC

Vous pouvez nous suggérer des thèmes que vous souhaiteriez voir traités dans une prochaine Note (ou Dossier) de Veille
veille@unitec.fr | communication@digital-aquitaine.com



avec le soutien de

