

LES JUMEAUX NUMÉRIQUES VONT-ILS RÉVOLUTIONNER L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION ?

LES Jumeaux NUMÉRIQUES





Depuis quelques années, le terme jumeau numérique est de plus en plus utilisé dans le secteur de la construction. Cependant, il s'est rapidement avéré que tout le monde ne partageait pas la même définition de cette technologie émergente.

Pour faire face à ces divergences, le DesignLab, le pôle R&D de Bouygues Construction dédié à la conception virtuelle pour la construction, a décidé **d'approfondir la compréhension de cette technologie et de ses applications potentielles dans le secteur de la construction**. Nous avons compris que le jumeau numérique est une technologie complexe qui peut être utilisée à différents stades du cycle de vie d'un projet de construction, allant de la planification à la maintenance. Nous avons également réalisé que le jumeau numérique peut avoir de nombreuses applications.

C'est pourquoi le DesignLab a décidé de se pencher sur cette question, en étudiant les différentes applications du jumeau numérique dans la construction et en identifiant quelles seraient les meilleures façons de l'intégrer à nos projets. Les jumeaux numériques sont devenus une technologie qui change la donne dans le secteur de la construction. En associant numériquement l'état d'un équipement physique ou d'un processus, **les jumeaux numériques offrent aux professionnels de la construction la possibilité de suivre, simuler et optimiser les performances des bâtiments, infrastructures et équipements**. Cette technologie a le potentiel de transformer l'industrie de la construction en la rendant plus efficace, en réduisant les coûts, en améliorant la sécurité et en favorisant le développement durable.

Dans ce livre blanc, nous étudierons les applications des jumeaux numériques dans l'industrie de la construction et nous donnerons un aperçu de leurs avantages, de leurs défis et des meilleures pratiques. Nous expliquerons également de quelle manière les jumeaux numériques peuvent être utilisés tout au long du cycle de vie de la construction et nous donnerons des exemples de mises en œuvre réussies. Nous examinerons aussi les exigences techniques, la gestion des données et les considérations relatives à la cybersécurité pour les jumeaux numériques dans le secteur de la construction.

Professionnels de la construction, maîtres d'ouvrage ou passionnés de technologie, ce livre blanc vous apportera une compréhension globale des jumeaux numériques dans le secteur de la construction, de leur potentiel à transformer la façon dont nous concevons, construisons et gérons les bâtiments et les infrastructures. Ce livre blanc présente la vision du département R&D de Bouygues Construction sur les jumeaux numériques.

Laure DUCOULOMBIER

Responsable du DesignLab, Bouygues Construction





Introduction

Depuis le début des années 2000, les entreprises de presque tous les secteurs exploitent la puissance des jumeaux numériques - des répliques virtuelles et interactives d'objets, de systèmes et de processus physiques.

Cette technologie a permis aux secteurs de l'énergie, de la chimie, du pétrole, du gaz et de l'exploitation minière d'améliorer la gestion du temps et des coûts, le reporting ou le suivi des activités. Jusqu'à présent, les jumeaux numériques se sont révélés particulièrement efficaces dans le cadre de projets complexes et de grande envergure qui nécessitent le contrôle, l'interprétation et le partage de grandes quantités de données.

Pourtant, l'industrie de la construction ne s'est pas encore ralliée aux jumeaux. Le taux d'adoption dans le secteur entier est estimé à seulement 10%. Il varie selon plusieurs facteurs : la fragmentation du secteur en termes de phases de projet, de parties prenantes et de flux de travail, le manque de connaissances, de compétences et d'infrastructures numériques pour développer et mettre en œuvre les jumeaux numériques, les coûts substantiels des projets et des faibles marges, ainsi que les préoccupations concernant le coût du développement et le retour sur investissement (ROI).

Néanmoins, les processus traditionnels peuvent compliquer l'accès, le contrôle et le partage des données importantes, qui sont souvent stockées sur des ordinateurs dont l'accès est réservé à un seul employé ou à une seule entreprise. Cela limite la capacité des parties prenantes à améliorer la façon dont elles conçoivent, construisent, contrôlent et gèrent leurs ouvrages.



Dr. Michael Grieves, de l'Université du Michigan, a été le premier à appliquer le concept de jumeaux numériques au secteur de la fabrication en 2002 et à présenter officiellement le concept de logiciel de jumeaux numériques.

En 2010, John Vickers, de la NASA, a créé le terme "jumeau numérique".

Pour les entreprises du bâtiment, les jumeaux pourraient aider à améliorer la gestion des chantiers afin de réduire les délais et les coûts, ainsi que l'impact environnemental. Les clients pourraient également bénéficier de services supplémentaires pour leurs bâtiments, tels que la réduction de la consommation d'énergie, la réalisation d'objectifs de développement durable et l'utilisation d'outils de géolocalisation pour améliorer la gestion des bâtiments.

Il y a du changement dans l'air. Selon les prévisions, le marché des jumeaux numériques dans le secteur de la construction devrait passer de 10,3 milliards de dollars en 2021 à 54,6 milliards de dollars en 2027. Bouygues Construction possède l'expertise nécessaire pour construire et exploiter des jumeaux numériques dans de nombreux cas de figure et s'est déjà servie de cette technologie dans le cadre de plusieurs projets, principalement axés sur l'exploitation et la maintenance de bâtiments. Parmi ces projets, on peut citer : la gestion de la Nouvelle Cité Administrative d'État à Lille, la télémaintenance à l'école d'ingénieurs française CentraleSupélec, et le contrôle de l'efficacité énergétique à La Grande Motte.

Mais le potentiel des jumeaux ne sera pleinement libéré que lorsque la technologie et les différentes façons dont elle peut être utilisée pour atteindre des objectifs spécifiques seront bien maîtrisées par toutes les parties prenantes.

Cela renforcera la chaîne digitale grâce à l'utilisation d'outils numériques pour acquérir et transmettre des informations tout au long du cycle de vie d'un projet. Ce livre blanc a été rédigé à partir d'informations recueillies lors d'entretiens avec des développeurs de jumeaux numériques et des maîtres d'ouvrage, ainsi que des dernières études menées sur cette technologie. L'objectif est de fournir une vue d'ensemble de l'état des jumeaux numériques dans l'industrie et d'examiner leurs applications, avantages, défis et opportunités futures afin de créer une feuille de route qui aidera Bouygues Construction et ses clients à exploiter efficacement leur potentiel.

Le marché du jumeau numérique dans le secteur de la construction devrait passer de

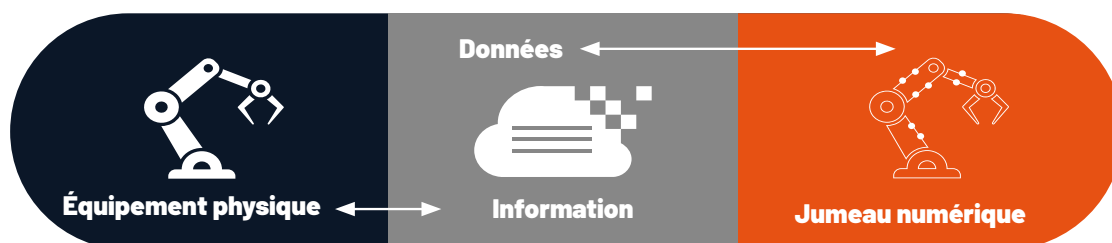
10,3 Md\$ en 2021 à

54,6 Md\$ en 2027



Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ?

Un jumeau numérique est une reproduction virtuelle d'un ouvrage, d'un système ou d'un processus qui peut être utilisé à chaque étape d'un projet, de la conception à l'exploitation ainsi que pour la maintenance. Un jumeau numérique est capable de collecter des données en temps réel sur un ouvrage (par exemple une ville entière, un immeuble de bureaux, des machines et équipements ou un flux de travail) grâce à un ensemble de capteurs attachés à l'ouvrage et à d'autres technologies. Afin de construire un jumeau réaliste par rapport à la version physique, toutes les informations pertinentes sur un ouvrage - par exemple les documents, les fiches techniques, les plans, les scans 3D et les modèles 3D de l'ouvrage physique existant - doivent être reliées entre elles.



Les jumeaux numériques vont-ils révolutionner le secteur de la construction ?

En utilisant des algorithmes d'analyse avancée, d'intelligence artificielle (IA) et d'apprentissage automatique (AA), il est alors possible d'obtenir des informations détaillées sur les performances passées, présentes et prévues d'un ouvrage pendant la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance. Ainsi, des décisions plus éclairées peuvent être prises tout au long du projet et pour que l'ouvrage final soit conforme aux spécifications du client.

Les différents types de jumeaux numériques

Plusieurs types de jumeaux numériques peuvent être construits selon le type d'objet à reproduire et de la phase du projet au cours de laquelle on a recours à la technologie. Il est également possible que différents types de jumeaux numériques soient utilisés dans le cadre d'un même projet.

Le tableau ci-dessous est un support qui permet d'illustrer en quoi les jumeaux peuvent être utilisés à différents stades pour obtenir des résultats diversifiés. Lorsque le besoin de la technologie est clairement défini et compris et que celle-ci est appliquée à la bonne étape du projet pour obtenir des résultats spécifiques, il est possible de suivre les indicateurs clés de performance pour mesurer son efficacité.

		1 Phase du cycle de vie		
		CONCEPTION	CONSTRUCTION	EXPLOITATION / MAINTENANCE
2 Type d'objet	PROCESS	Processus d'ingénierie Administration / Bureau	Processus de construction Administration / Terrain	Processus opérationnel Administration / Terrain
	OUVRAGE Bâtiment - Infrastructure	Ouvrage Tel que prévu	Ouvrage Tel que construit	Ouvrage Tel que réalisé / exploité
	OUVRAGE DANS SON ENVIRONNEMENT	Quartier en conception Modélisation urbaine / de la valeur	Quartier en construction Tel que construit	Quartier en exploitation Flux / réseaux

Selon l'objectif du jumeau numérique, un certain nombre de facteurs doivent être pris en compte :

1. Phase du cycle de vie

Les critères du cycle de vie permettent de qualifier les activités sur lesquelles se concentrent les différents types de jumeaux numériques et les cas d'usage associés.

2. Type d'objet

Le critère "catégorie" est utilisé pour qualifier le système physique sur lequel sont basés les différents types de jumeaux numériques et les cas d'usage associés. Il existe trois catégories :

- **Process** : il s'agit des activités et des tâches qui soutiennent les activités de la phase du cycle de vie de l'objet.
- **Ouvrage** : cette catégorie couvre l'ensemble des systèmes physiques (produit, équipement, matériel...). Dans le cas du secteur de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction, cette catégorie concerne surtout les bâtiments et les infrastructures.
- **Ouvrage dans son environnement** : il s'agit de l'écosystème autour de l'ouvrage. Dans le cas du secteur de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction, cette catégorie se réfère à la ville et comprend ses réseaux, ses flux et ses réseaux électriques.



Comment utilise-t-on les jumeaux numériques dans le secteur de la construction ?

Les jumeaux numériques permettent de remplir de nombreuses fonctions à différents stades d'un projet. Nous avons détaillé ici une série de cas d'usages clés pour souligner en quoi la technologie peut aider les différents acteurs d'un projet afin d'améliorer les résultats.

Développer de nouveaux modèles de construction de bâtiments

Au cours de la phase de conception d'un projet, les architectes testent plusieurs conceptions différentes. Grâce aux jumeaux numériques, les architectes peuvent faire des essais avec différentes conceptions pour déterminer comment le bâtiment ou la structure se comportera en situation réelle. Les parties prenantes reçoivent ainsi un retour d'information précis sur la stabilité, la sécurité, la durabilité et la praticité de la conception avant la construction, ce qui réduit le risque de coûts de travaux de reprise élevés à la fin du projet.

On peut également créer un jumeau au cours du processus de construction. La visualisation de la construction permet aux parties prenantes de comparer la planification théorique avec la construction réelle du chantier et d'extraire des données en temps réel. En fin de construction, les modèles tels que construits représentent le bâtiment tel qu'il a été réellement réalisé avec toutes les modifications, ajouts et autres changements effectués au cours de la construction, ce qui permet de comparer la construction finale avec la conception d'origine.

Améliorer la collaboration et la productivité

Lorsqu'il s'agit de projets complexes impliquant plusieurs parties prenantes, souvent situées dans des pays et des fuseaux horaires différents, la communication, la collaboration et la productivité peuvent s'avérer un véritable défi. Le problème de l'accès aux données appartenant à différentes parties prenantes qui sont stockées dans des feuilles de calcul, des documents papier et diverses plateformes en ligne est fréquent. Grâce aux jumeaux numériques, les informations essentielles peuvent être stockées, mises à jour et consultées à distance à un seul endroit tout au long du projet, ce qui permet des prises de décision rapides, collaboratives et claires.

Simulation des systèmes de sécurité et d'urgence

Le respect des règles de sécurité est essentiel pour garantir la sécurité des employés sur le chantier et éviter les sanctions financières et les atteintes à la réputation en cas de non-respect des normes industrielles. Les jumeaux numériques permettent aux entreprises de réaliser des scénarios de simulation afin de prévoir et d'atténuer de futurs risques. La sécurité et la productivité des chantiers s'en trouvent améliorées, ce qui aide les entreprises à atteindre leurs objectifs en matière de RSE et à attirer les meilleurs talents du secteur.

Optimisation de la performance des ouvrages

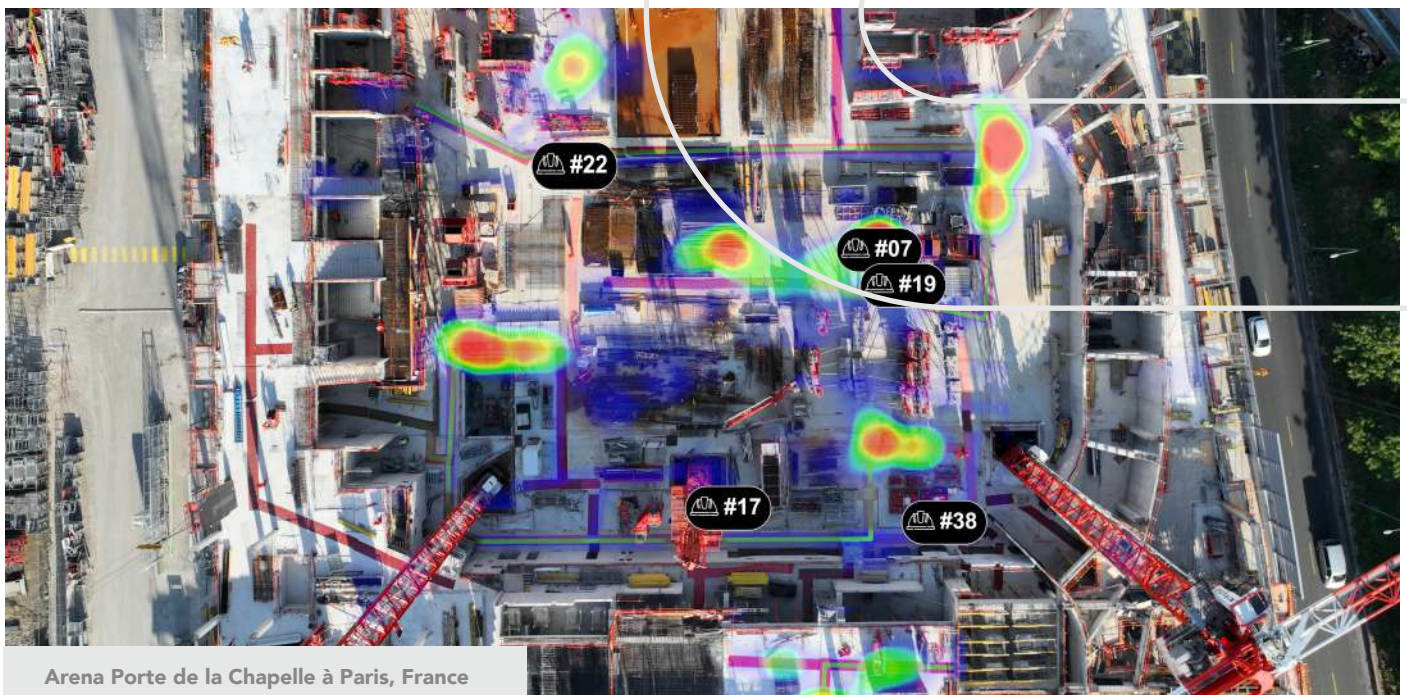
Les jumeaux numériques permettent de suivre les performances actuelles et futures d'un bien à l'aide de données recueillies en temps réel. Prévoir et planifier la maintenance future d'un ouvrage permet de prolonger sa durée de vie et de réduire les coûts engendrés par des problèmes de maintenance imprévus. Lorsque des pannes ou des anomalies se produisent, les agents de maintenance peuvent être automatiquement alertés et envoyés sur le site. Il est également possible de surveiller et de gérer les interactions entre les techniciens sur les sites afin d'optimiser la collaboration et les performances du personnel.

Optimiser l'efficacité énergétique

L'efficacité énergétique peut également être optimisée grâce à un suivi en temps réel afin d'atteindre les objectifs de développement durable. Bouygues Construction mène une expérience à La Grande Motte, pour évaluer comment les jumeaux numériques peuvent être utilisés pour contrôler et améliorer l'efficacité énergétique, dans le but de réduire les coûts en optimisant la gestion de l'éclairage public.

Réduction des coûts de construction et d'exploitation

Pour garantir l'efficacité et la livraison des projets dans les délais impartis, il est essentiel de disposer d'une organisation de travail efficace et d'équipes aux compétences complémentaires. Les jumeaux numériques permettent aux entreprises de mettre en œuvre différents types de scénarios logistiques et de séquençage à l'avance afin de créer les flux de travail et l'environnement le plus adapté à la construction et à l'exploitation d'un ouvrage.



Arena Porte de la Chapelle à Paris, France



Les exigences imposées aux clients et aux entreprises de construction pour atteindre les objectifs de durabilité s'intensifient d'année en année. C'est précisément dans ce domaine que les jumeaux numériques pourraient avoir le plus d'impact, en optimisant la gestion et l'efficacité de l'énergie pour réduire les coûts et les émissions. Les jumeaux pourraient également jouer un rôle dans les villes intelligentes. En connectant plusieurs jumeaux de différents bâtiments, les conseils locaux et les gouvernements pourraient suivre, optimiser et entretenir des villes entières.

Sarra HASSEN
BIM manager chez Bouygues
Energies & Services

Les jumeaux numériques à l'œuvre

Bouygues Energies & Services a travaillé sur plusieurs projets de jumeaux numériques qui permettront à l'entreprise et à ses clients d'obtenir de nombreux résultats concluants pendant la phase de gestion des installations.

ÉCOLE D'INGÉNIEURS CENTRALE SUPELEC

Bouygues Energies & Services a construit un jumeau numérique qui permet aux équipes opérationnelles et de gestion des installations de visualiser et d'interagir avec un jumeau numérique du bâtiment.

LES AVANTAGES



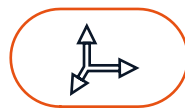
Économies d'énergie

Exercer un meilleur contrôle sur le bâtiment intelligent pour mieux calibrer la consommation d'énergie et analyser l'écart entre l'activité réelle et l'activité prévue.



L'optimisation de la qualité de service

On peut citer comme exemples la récupération des données des capteurs de présence : pour définir la fréquence du nettoyage dans des zones spécifiques, l'occupation en direct des places de stationnement et le développement associé des services de partage de voitures...



Gestion de l'espace / optimisation de l'usage

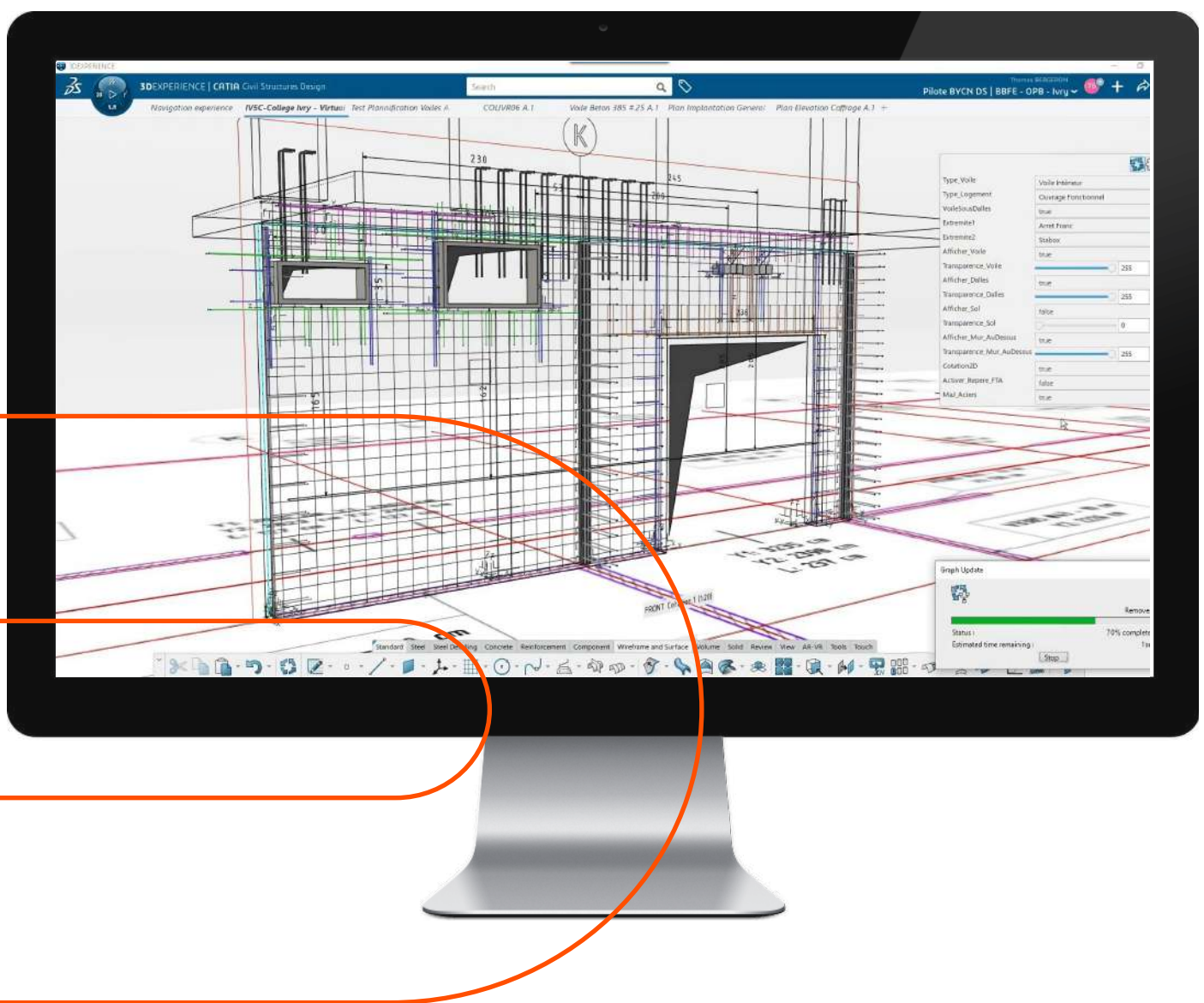
Utiliser les données pour développer des solutions "intelligentes" reliant les données d'occupation, la gestion de l'accès, la planification énergétique, en particulier dans les classes (qualification des cours).



Entretien des équipements

Meilleure visibilité pluriannuelle sur son patrimoine.

Comment Bouygues Construction utilise les jumeaux numériques ?



Être pionnier sur le développement de jumeaux numériques

Chaque projet dans le secteur du bâtiment est unique et les exigences deviennent de plus en plus complexes.

Afin de relever ce défi, Bouygues Construction investit dans le développement de jumeaux numériques. L'objectif est d'améliorer la construction des bâtiments au profit des clients et potentiellement d'améliorer la façon dont l'ensemble de l'industrie de la construction relève les nouveaux défis environnementaux. L'utilisation des jumeaux numériques permettra également de renforcer l'efficacité des systèmes d'ingénierie et d'améliorer la prise de décision dans le domaine de la santé et de la sécurité.

Cette révolution ne peut se faire qu'en impliquant toutes les parties prenantes du projet dans la construction d'un jumeau numérique qui servira à l'ensemble d'un projet, de la conception à l'exploitation. Un tel niveau de collaboration nécessite une plateforme numérique unique pour rassembler l'ensemble de l'écosystème de la construction. Pour cela, nous avons conclu un partenariat avec Dassault Systèmes, développeur majeur de logiciels, afin d'utiliser sa plateforme collaborative 3D Experience pour créer des jumeaux numériques de la construction.

Construire des jumeaux virtuels BRYCK par BRYCK

Grâce à leur partenariat, Bouygues Construction et Dassault Systèmes innovent dans le domaine de la construction avec la démarche de transformation des métiers de Bouygues Construction : BRYCK. La construction est confrontée à trois défis majeurs en termes d'amélioration de la durabilité, d'augmentation de la productivité et de lutte contre la pénurie de main-d'œuvre qualifiée. BRYCK a pour objectif de contribuer à la résolution de ces problèmes grâce à l'utilisation de jumeaux virtuels.

En effet, ce projet ambitieux permettra de faire évoluer le rôle de l'entreprise et de transposer dans le monde numérique l'expertise du monde réel du secteur de l'environnement bâti. Le jumeau numérique deviendra la plateforme par laquelle les différents points de vue et les connaissances des architectes, des ingénieurs et des intervenants du chantier seront réunis.

Si Bouygues Construction et Dassault Systèmes ont choisi de travailler ensemble, c'est parce qu'ils partagent la même vision stratégique : faire de la construction un processus qui se rapproche d'une chaîne de montage industrielle, avoir une source unique de données mises à jour en temps réel, améliorer la logistique, réduire les déchets, diminuer les coûts et améliorer la sécurité des personnes qui travaillent sur le chantier.

Grâce à l'utilisation de jumeaux numériques, BRYCK contribuera à l'industrialisation de l'environnement bâti par une conception modulaire, une utilisation plus efficace des matériaux et une amélioration de la productivité sur le chantier. Il permettra également une meilleure adaptation aux besoins du client, en optimisant la configuration des éléments standardisés pour créer un résultat unique. Une plus grande visibilité de l'avancement des travaux sur le chantier facilitera également l'efficacité des opérations logistiques, en permettant d'organiser la création et la livraison des composants en temps réel.

Avec le développement de ce partenariat, le modèle créé par Bouygues Construction et Dassault Systèmes sera appliqué à la transformation de la phase de construction des projets, ce qui contribuera à réduire les coûts pour les clients et à relever les trois grands défis - durabilité, productivité et compétences - auxquels le secteur est confronté.

BRYCK NEW WAY
TO BUILD



Tendances du marché : La transformation du jumeau numérique dans différents territoires

Dans le secteur de la construction, la transformation à l'échelle internationale du jumeau numérique est alimentée par la recherche et l'investissement des gouvernements et du secteur privé, par une nouvelle législation et par des initiatives destinées aux entreprises de toutes tailles.

L'objectif est de permettre le déploiement de jumeaux numériques au sein des entreprises nationales et de promouvoir leur interopérabilité, afin que les jumeaux numériques puissent se connecter à d'autres systèmes logiciels utilisés pour recueillir des données précieuses, ainsi que des jumeaux numériques utilisés dans différents secteurs d'activité pour créer des "systèmes de systèmes". Cela aidera les gouvernements à créer des villes et des nations plus efficaces, plus résilientes et plus durables.

CANADA

Le gouvernement canadien a publié des normes spécifiques pour les jumeaux numériques (par ex. CAN/CIOSC 106-1 : Découverte des jumeaux numériques pour les cadres bâtis).

ÉTATS-UNIS

Publication en avril 2021 des "Considerations for Digital Twin Technology and Emerging Standards" (considérations pour la technologie des jumeaux numériques et les normes émergentes).

SINGAPOUR

Le projet de jumeau numérique virtuel de Singapour invite les acteurs à différentes échelles à développer des solutions de jumeau numérique interopérables pour assurer la cohésion du modèle global. De plus, le gouvernement souligne l'importance de l'interopérabilité dans ses partenariats avec les fournisseurs de solutions de jumelage numérique.

EUROPE

La stratégie européenne pour les données

- Adopter des mesures législatives sur la gouvernance, l'accès et la réutilisation des données.
- Rendre les données plus accessibles en publiant des ensembles de données de grande valeur détenues par le secteur public.
- Investir 2 milliards d'euros dans un projet européen à fort impact pour développer des infrastructures de traitement des données, des outils de partage des données, des architectures et des mécanismes de gouvernance.
- Permettre l'accès à des services de cloud sécurisés, équitables et compétitifs.

ROYAUME-UNI

Le programme national de Jumeau Numérique ("National Digital Twin programme" ou NDTF) au Royaume-Uni est géré par le Centre for Digital Built Britain, un partenariat entre l'université de Cambridge et le ministère des affaires, de l'énergie et de la stratégie industrielle. Lancé en juillet 2018, ce programme a été mis en place pour mettre en œuvre les principales recommandations du rapport "Data for the Public Good" publié en 2017 par la National Infrastructure Commission. Depuis, le programme a continué à publier ses recommandations pour la construction d'un jumeau numérique national :

- **Principes Gemini (2018)** : principes proposés pour guider le jumeau numérique national et le cadre de gestion de l'information (CGI) qui le rendra possible.
- **Feuille de route du DFTG (2018)** : plan hiérarchisé pour cinq flux principaux responsables de la mise en œuvre du CGI.
- **Lancement du Digital Twin Hub (2019)** : communauté en ligne pour les premiers utilisateurs de jumeaux numériques.
- **Systèmes florissants (2020)** : changement de vision pour une infrastructure axée sur les personnes et basée sur les systèmes.
- **La voie vers le CGI (2020)** : proposition de noyau technique pour le CGI.
- **Programme Gemini (2020)** : programme visant à développer des ressources pour la communauté DTHub et à étendre la portée du CGI et du programme national de jumelage numérique lui-même.

HONG KONG

Dans le secteur privé, l'aéroport international de Hong Kong adopte activement les jumeaux numériques pour optimiser la prise de décision, rationaliser les processus et se transformer en un aéroport intelligent. Cette initiative répond aux besoins futurs tout en visant des objectifs tels que la réduction des coûts, l'amélioration de la maintenance, l'homogénéisation des procédures, la réduction des travaux de reprise et l'amélioration du service aux passagers. En outre, le secteur des jumeaux numériques prend de l'ampleur, principalement sous l'impulsion de clients privés influents dans le domaine des technologies de l'information et de la communication (PropTech), qui se concentrent sur la gestion des installations des bâtiments commerciaux. Cette tendance est sur le point de révolutionner les projets de l'Internet des Objets (IoT) dans les bâtiments intelligents en offrant des informations en temps réel qui favorisent l'efficacité opérationnelle et la génération de revenus.

Dans le secteur public, le gouvernement déploie un système de sécurité intelligent ("Smart Safety System") pour les contrats de travaux publics dépassant 30 millions de dollars HK afin d'améliorer la sécurité sur les chantiers. Ce système comprend des dispositifs de surveillance, un réseau de communication et une plateforme centralisée pour l'analyse des données et les alertes. Le système de gestion numérique des sites de construction ("Digital Construction Site Management System", DCSMS) de la société MTR encourage en outre activement l'intégration des jumeaux numériques pendant la phase de construction, en exploitant les données en temps réel pour améliorer la gestion des projets, la sécurité des sites et l'efficacité globale de l'industrie de la construction.

AUSTRALIE

- Les principales recommandations d'Infrastructure Australia (IA) : 100 % des projets financés par le gouvernement australien intègrent un jumeau numérique, suivant une approche harmonisée, d'ici 10 à 15 ans.
- L'état de la Nouvelle-Galles du Sud en Australie investit 40 millions de dollars australiens dans un jumeau numérique spatial qui facilitera la planification urbaine et le développement de l'état le plus peuplé du pays.

- LÉGENDE**
- promouvait le déploiement des jumeaux numériques
 - promouvait l'interopérabilité des jumeaux numériques

Quels sont les défis des jumeaux numériques ?



Gare du Vert de Maisons, France

Si les avantages potentiels des jumeaux numériques sont considérables, de nombreux obstacles freinent l'industrie dans le développement de jumeaux et l'intégration de la technologie dans les projets. Jusqu'à présent, le déploiement des jumeaux numériques a été largement limité aux entreprises internationales travaillant sur des projets complexes avec des budgets importants et une infrastructure numérique bien établie.

Activités



Le coût des jumeaux numériques

Il est nécessaire d'effectuer de lourds investissements initiaux pour acquérir et exploiter l'infrastructure technologique, le matériel, les logiciels et le personnel qualifié nécessaire à la mise en œuvre des jumeaux numériques. Les coûts supplémentaires associés à la capture, au traitement et à la gestion de grands volumes de données, ainsi que la gestion et la maintenance du jumeau numérique tout au long de son cycle de vie, sont également considérables. Pour les petites entreprises et les projets à budget serré, cela peut constituer un véritable obstacle à leur mise en œuvre.



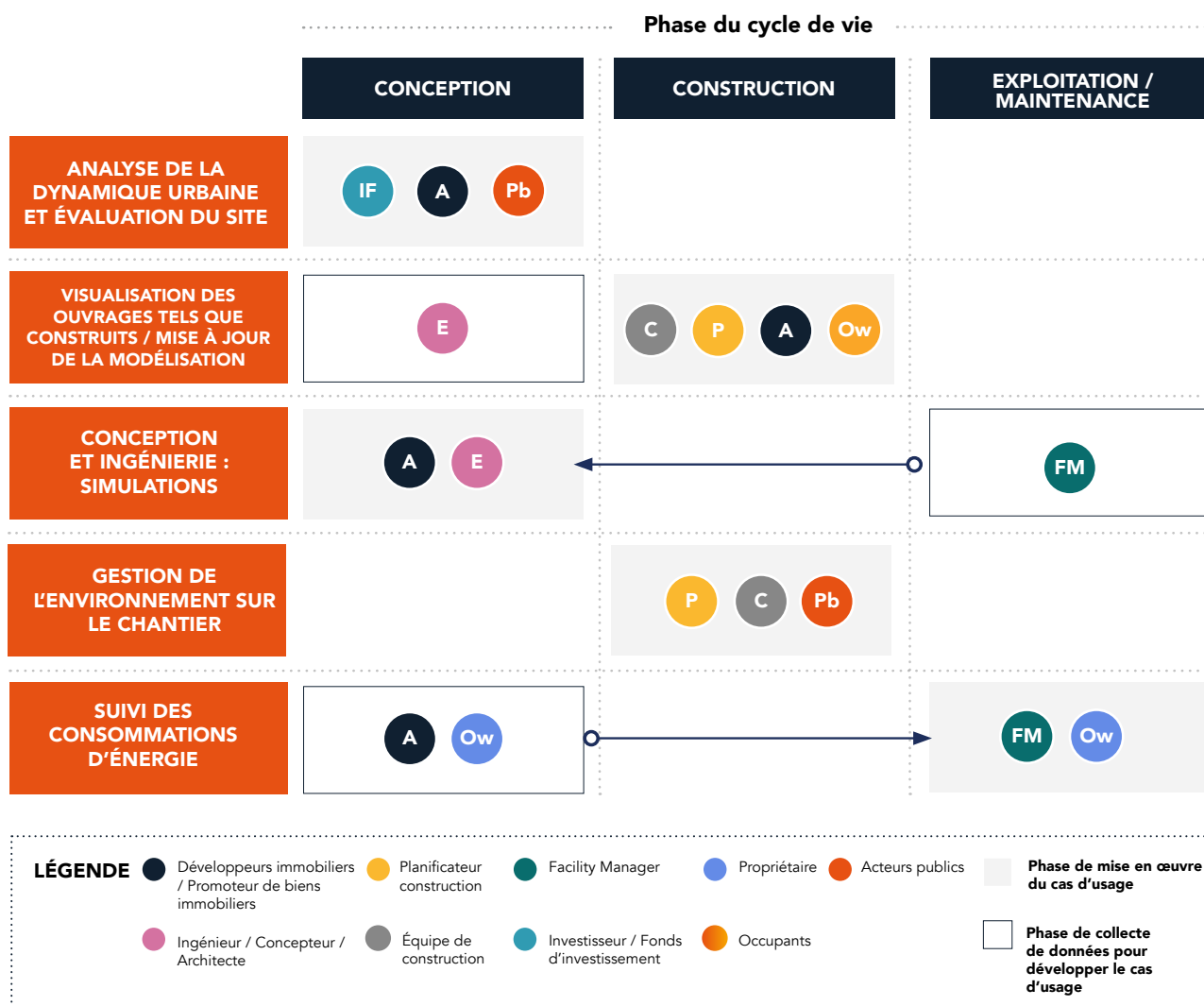
Retour sur investissement

Il est également difficile de démontrer le retour sur investissement et les autres avantages tangibles des jumeaux numériques. Bouygues Construction a interrogé plusieurs grands fournisseurs de logiciels qui créent des jumeaux numériques et a constaté que chacun d'entre eux avait des méthodes différentes pour mesurer leur efficacité. Certains calculent le retour sur investissement en termes de réduction du temps de développement et d'optimisation des processus de construction et de planification, plutôt qu'en termes de bénéfices réels pour l'entreprise. D'autres présentent des chiffres de gains concrets liés à des cas d'usage très spécifiques en matière de maintenance d'infrastructures critiques, tandis que d'autres n'ont toujours pas généré de retour sur investissement sous quelque forme que ce soit.



Process | Collaboration des parties prenantes

Le secteur de la construction comprend plusieurs parties prenantes, dont les architectes, les ingénieurs, les entreprises, les fournisseurs et les facility managers. Il existe un lien étroit entre les acteurs et les phases des projets qui doivent être pris en compte pour mettre en œuvre la plupart des cas pratiques. Les données doivent être collectées et les modèles générés au cours de plusieurs phases - par exemple, le recours à la rétro-conception pour les cas liés à la maintenance. Dans le tableau ci-après, on peut voir comment les différentes parties prenantes sont impliquées à différents stades des projets impliquant divers cas pratiques.



Sources : Niji Analyse basée sur des ateliers

Technologie

Développement de normes et interopérabilité

Chaque partie prenante utilise ses propres plateformes logicielles, formats de données et normes – il n'existe actuellement aucun référentiel industriel unique de jumeaux numériques auquel les parties prenantes pourraient adhérer. C'est pourquoi il est difficile d'établir des normes de données communes et d'assurer l'interopérabilité entre les différentes plateformes, entreprises et individus. Sans une intégration et une compatibilité adaptées, le partage de données entre différents systèmes devient difficile, ce qui freine le bon développement et le fonctionnement des jumeaux numériques.

Un autre défi consiste à choisir le type de jumeau numérique. Un jumeau numérique peut être une carte, une simple représentation en 2D ou une maquette en 3D, et il existe différentes manières d'utiliser chaque type de jumeau numérique, par exemple via un ordinateur, un appareil mobile ou un casque de réalité virtuelle. Ces options engendrent des coûts différents et des décisions supplémentaires pour les clients.

Éditeurs de logiciels

Autre problème : les fournisseurs de logiciels qui construisent des jumeaux numériques proposent tous des solutions différentes. Certains se concentrent sur la collaboration et l'optimisation des tâches, tandis que d'autres se spécialisent dans la réalisation de visualisations photoréalistes des ouvrages ou dans la création d'outils permettant de collecter des données en temps réel sur un ouvrage. Cela complique d'avantage le choix du bon partenaire technologique.

Données | Qualité et disponibilité

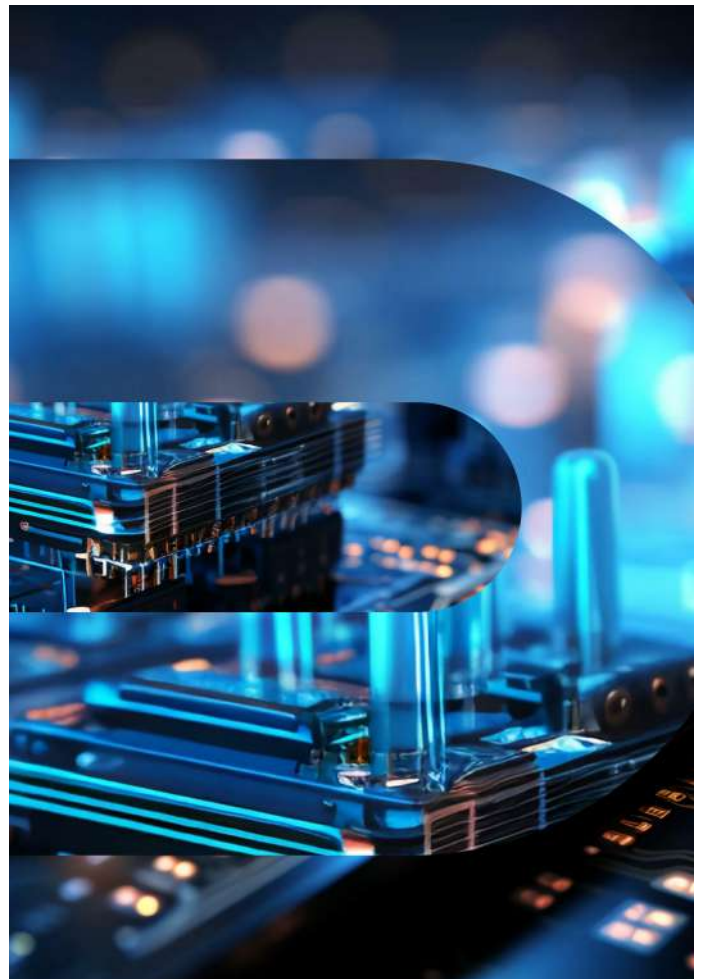
Les jumeaux numériques nécessitent un flux constant de données actualisées provenant de modèles 3D, de capteurs, d'appareils connectés et d'historiques de données pour être précis et fiables. Recueillir ces données n'est pas simple - les parties prenantes dont les capacités numériques sont limitées et les données incomplètes ou peu fiables peuvent limiter l'efficacité, la fiabilité et, en fin de compte, la réussite du jumeau numérique pour atteindre les résultats souhaités.

Collaborateurs | Manque de compétences et formation

Pour pouvoir intégrer les jumeaux numériques, il faut disposer de compétences spécifiques, maîtrisant les nouvelles technologies, telles que l'intelligence artificielle, l'analyse des données et l'Internet des Objets (IoT). Repérer et attirer des talents externes avant les concurrents et faire monter en compétences les collaborateurs constitue un autre enjeu. La transition des processus de conception et de construction traditionnels vers des process utilisant des jumeaux numériques peut également nécessiter d'importants changements en termes d'organisation et de culture. La résistance au changement, le manque de sensibilisation et la compréhension limitée des avantages des jumeaux numériques peuvent aussi être des obstacles à leur adoption, mais cette nouvelle ère de numérisation post-COVID pourrait jouer un rôle de catalyseur du changement.

Sécurité | Vie privée et sécurité

Les jumeaux numériques impliquent la collecte et le partage de données sensibles provenant des bâtiments, des infrastructures et même des personnes qui travaillent sur ces ouvrages et les utilisent au quotidien. Cette situation a suscité des inquiétudes concernant la protection de la vie privée, la propriété des données et la cybersécurité. C'est pourquoi il est essentiel de mettre en place une gouvernance, des mesures de sécurité robustes et des normes strictes pour prévenir les violations de données, l'accès non autorisé ou l'utilisation abusive de données sensibles.





Issue d'une collaboration entre l'ESTP, Bouygues Construction, Egis, Schneider Electric, BRGM, SNCF Réseau et Arts et Métiers, la Chaire de recherche "Jumeaux numériques de la construction et des infrastructures dans leur environnement" est une alliance inédite d'acteurs parmi les leaders de leurs marchés respectifs sur l'ensemble de la chaîne de valeur des projets de construction et du cycle de vie des bâtiments et des infrastructures.

6 axes de recherche et d'études ont été définis :

- Structuration de données utilisées et issues du jumeau numérique pendant le cycle de vie de l'ouvrage ;
- Continuité numérique appliquée aux jumeaux numériques : interopérabilité des maquettes et données ;
- Architecture des jumeaux numériques : lien entre l'ouvrage physique et le jumeau numérique ;
- Le jumeau numérique en tant qu'outil d'aide à la décision améliorée (Intelligence Artificielle et simulation) ;
- Contribution des jumeaux numériques à la transition écologique et énergétique ;
- Gouvernance des jumeaux numériques : protection des données et cyber sécurité.



Comment libérer le potentiel des jumeaux numériques ?



Bouygues Construction cherche à accélérer le changement dans quatre domaines clés.

Cette démarche constituera une feuille de route pour cibler les marchés clés, définir les cas d'usage les plus pertinents, créer un ensemble solide de normes pour mesurer les performances des jumeaux numériques et définir qui, comment et quand les différentes parties prenantes peuvent accéder aux jumeaux numériques afin d'utiliser la technologie au maximum de son potentiel pour atteindre les objectifs de l'entreprise et du client.



Activités

Il est essentiel de se concentrer sur les marchés et les cas d'usage clés pour pouvoir accélérer le développement des jumeaux numériques. En raison de leur ampleur, les États-Unis et le Canada semblent être les marchés les plus attrayants pour le développement mondial des modèles numériques (les dépenses dans le secteur de la construction aux États-Unis s'élevaient à 1 798 milliards de dollars en 2022, tandis que le Canada dépensait 340 milliards de dollars). Cependant, l'Australie et Singapour ont les plans d'investissement les plus importants (en % de leur marché) et pourraient permettre une spécialisation des cas d'usage.

En Australie, pour développer les jumeaux numériques, on s'appuie principalement sur la promotion de l'interopérabilité, en particulier dans les projets financés par le secteur public, tandis qu'à Singapour, c'est la durabilité et la gestion des terres qui sont à l'origine du développement des jumeaux numériques. Pour tous ces pays, l'industrialisation du processus de construction est un des cas d'usage récurrents déjà exploités par un modèle de jumeau numérique.

1 798 Md\$

**Dépenses dans le secteur
de la construction aux
États-Unis en 2022**

340 Md\$

Dépenses au Canada

Définir les cas d'usage et la proposition de valeur

Pour mettre les clients en confiance, il serait pertinent de commencer par un ou deux cas d'usage pour illustrer le retour sur investissement et d'augmenter progressivement les différentes façons dont les jumeaux numériques peuvent être utilisés dans le cadre d'un même projet. Après avoir choisi un cas d'usage, comme par exemple le suivi de l'énergie pour réduire les coûts, il est important de définir quel type de données est essentiel pour résoudre le problème.

Engagement à long terme

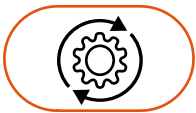
Actuellement, les coûts liés à la mise en œuvre de jumeaux numériques sont élevés, ce qui signifie que le retour sur investissement ne sera vraisemblablement atteint qu'à long terme. La compréhension de la technologie par les clients est également limitée et il est donc important d'instaurer la confiance en se concentrant sur l'engagement à long terme pour des ouvrages complexes. Un bon exemple serait l'optimisation de la maintenance dans le secteur de la santé, afin d'élaborer un usage métier sur le long terme, qui intégrerait la prévention des risques et des sanctions.

Démontrer les avantages non financiers

À l'heure actuelle, il est clair que tous les projets impliquant des jumeaux numériques n'aboutiront pas à des avantages financiers directs. Cependant, certains avantages non financiers, tels que la réduction des retards et l'amélioration de l'empreinte carbone des projets, présentent un intérêt pour les entreprises et les organisations et peuvent être obtenus grâce à la mise en place de jumeaux numériques.

Définir et communiquer sur la construction du plan d'exécution

En interne, il est également essentiel de définir et de communiquer une méthode de travail précise lorsque l'on utilise des jumeaux numériques. Cela signifie définir comment une équipe projet travaillera, les outils et les techniques pour atteindre les résultats souhaités et prendre en compte des détails tels que les rôles et les responsabilités des personnes impliquées, le calendrier du projet et les éléments livrables qui seront produits.



Process

Le process est un autre domaine important pour fluidifier la mise en œuvre des jumeaux numériques. Il est essentiel de définir des process de validation des données, basés sur les process standards existants. Il est également essentiel qu'un processus de définition des cas d'usage soit défini, impliquant les responsables des installations et des opérations au début de chaque projet.



Données et technologie

Il est également recommandé de définir des lignes directrices en matière de standardisation des données – à savoir le processus de création de normes et de la transformation de données provenant de différentes sources dans un format cohérent qui respecte les normes – et de soutenir les initiatives de standardisation. Par ailleurs, il est conseillé de limiter l'environnement du jumeau numérique aux applications qui se connectent directement au BIM (Building Information Modeling) et à l'environnement commun de données ("Common Data Environment", CDE). À partir de là, des connexions et des intégrations supplémentaires peuvent être développées.



Publics

De nombreux intervenants auront besoin d'accéder au jumeau numérique et chacun d'entre eux souhaitera accéder à différents types d'informations. En proposant des solutions adaptées à chaque profil professionnel, il est possible de fournir à chacun le niveau d'information adapté, un niveau d'accès spécifique et une vue permettant d'utiliser le(s) jumeau(x) numérique(s) de manière efficace. Par ailleurs, l'élaboration d'un programme de conduite du changement et de sensibilisation ciblé sur chaque type d'intervenant contribuera à former des utilisateurs sur les jumeaux numériques et leurs utilisations et à améliorer la façon dont la technologie est utilisée à différents stades des projets. De même, il est essentiel de disposer d'une équipe d'assistance spécialisée dotée des compétences requises pour résoudre les problèmes techniques.



CONCLUSION

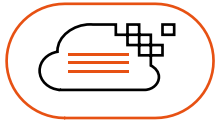


De toute évidence, les jumeaux numériques ont le potentiel d'optimiser la manière dont les projets de construction sont réalisés et pourraient aider les clients à atteindre une série d'objectifs importants, notamment en matière de développement durable, de délais de réalisation des projets et d'économies financières.



Étant donné que les jumeaux numériques n'ont pas encore été utilisés à grande échelle dans l'industrie, il n'y a pas encore suffisamment de données pour prédire avec précision leur potentiel à l'avenir et la façon dont la technologie évoluera. En l'état actuel des choses, Bouygues Construction dispose de trois possibilités de positionnement pour devenir un acteur clé du développement et du déploiement des jumeaux numériques.

FOURNISSEUR DE DONNÉES



Un prestataire collecte, structure, fournit et valorise les données aux acteurs de la chaîne de valeur qui peuvent exploiter leur propre solution de jumeau numérique (par exemple un propriétaire, un promoteur immobilier, un bureau d'études...).

La mise à disposition des données serait dans ce cas une autre responsabilité clé, Bouygues Construction étant désigné comme garant de leur qualité, de leur exhaustivité et de leur caractère structurant selon les normes et cadres auxquels l'entreprise participe et contribue à enrichir et à développer.

Enfin, la valorisation des données, qui permet l'enrichissement de la connaissance à plus grande échelle sur un périmètre défini d'ouvrages et de problématiques, serait également du ressort du prestataire.

FOURNISSEUR DE JUMEAU NUMÉRIQUE



Bouygues Construction fournirait au client l'intégration du jumeau numérique en fonction de son projet et des cas d'usage prévus. Potentiellement, l'entreprise pourrait travailler à la fois comme fournisseur de données et fournisseur de jumeau numérique pour permettre le déploiement du jumeau numérique dans la phase concernée du cycle de vie du bâtiment.

En théorie, la solution peut faire partie intégrante de l'offre d'activités traditionnelles de Bouygues Construction (option la plus probable) ou être considérée comme une ligne d'activités indépendante.

OPÉRATEUR DE JUMEAU NUMÉRIQUE



Bouygues Construction pourrait également jouer le rôle d'opérateur de jumeaux numériques. C'est à dire l'exploitation du jumeau numérique (développé par le client ou mis en place par un précédent prestataire de services) pendant son exploitation et assure son enrichissement/développement tout au long du cycle de vie. Une multitude d'autres activités seraient en lien avec ce rôle : l'exploitation des données et la construction de modèles de simulation de jumeaux pour les activités de maintenance, la mise en place de cas d'usage intégrés et la mise en place de services alimentés par le jumeau numérique.

ÉTAPES CLÉS



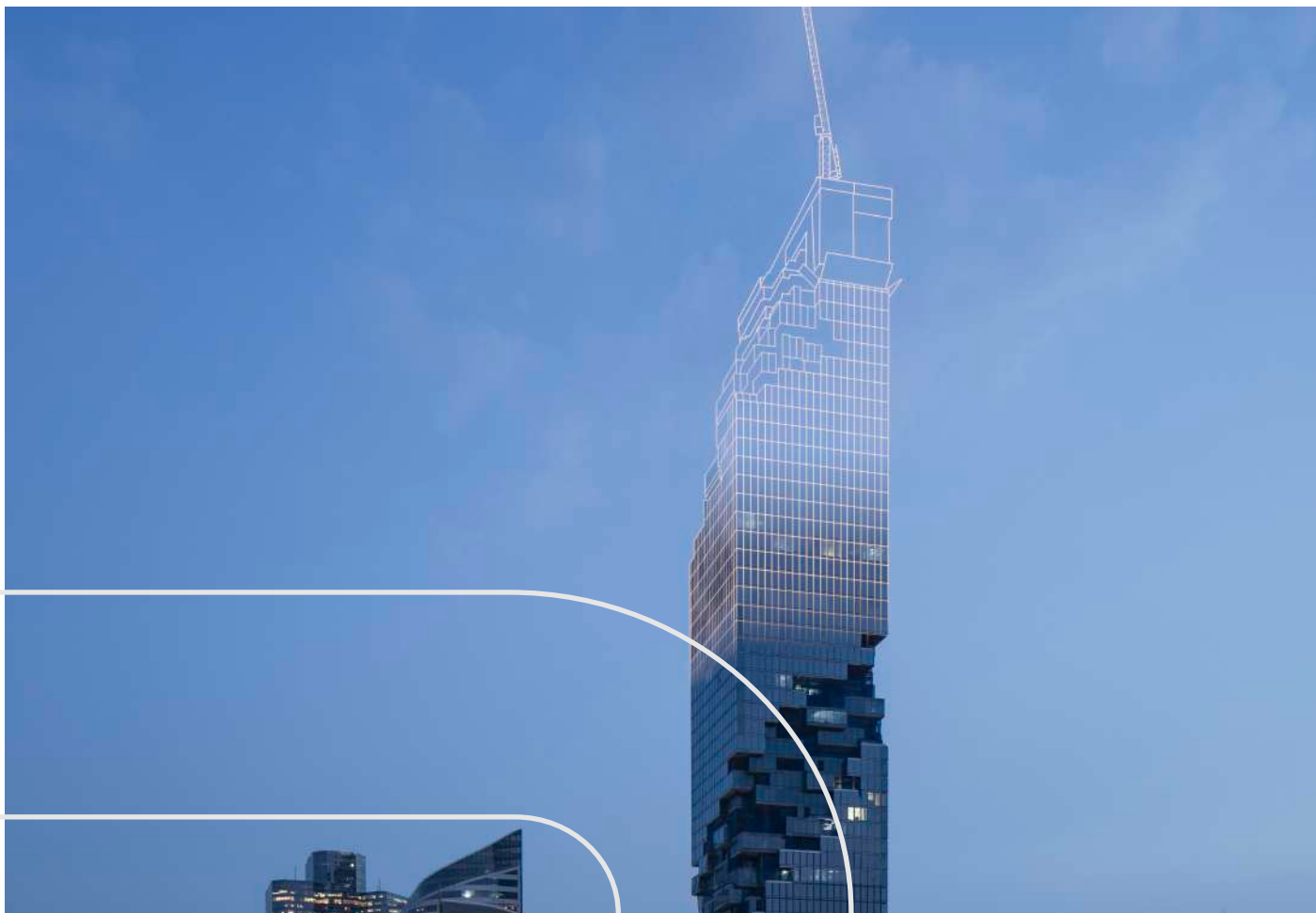
Bouygues Construction doit, pour répondre à chacune de ces options de positionnement, engager des actions à court terme pour lever les freins, notamment en matière de données, et mener des expérimentations pour confirmer l'intérêt des modèles de jumeaux numériques et la pérennité des partenariats. Le tableau ci-contre présente les forces et faiblesses des entreprises ainsi qu'un plan d'action à différentes étapes afin de permettre le développement et le déploiement des jumeaux numériques.

DONNÉES CUMULÉES

		S1	S2	S3		
Scénario		FOURNISSEUR DE DONNÉES	FOURNISSEUR DE JN	OPÉRATEUR JN		
Points forts	CONCEPTION	Expertise des données du point de vue métier : capacité à établir des exigences de données précises et à qualifier les données	Importance du modèle “tel que construit” par rapport au modèle “tel que prévu” : plus proche de la réalité et réduction de l’effort nécessaire pour fournir le modèle au client	Connaissances des utilisateurs finaux et présence sur place		
	CONSTRUCTION					
	EXPLOITATION					
Points faibles	CONCEPTION	Pas de structure de données interne	Pas de normalisation au niveau du travail	Faible acceptation des exigences du client ou d’un cadre plus rigide par les ingénieurs / techniciens de terrain	Le savoir-faire en matière de méthodes de construction ne sera pas partagé avec d’autres entités	Capacités informatiques très limitées, y compris pour le développement d’applications
	CONSTRUCTION					
	EXPLOITATION					

		Vérifier la valeur du cas d'usage du jumeau numérique pour le client		
Plan d'action par axe de travail	CAS D'USAGE			
	DONNÉES	Déployer la structuration des données au niveau du groupe Bouygues Construction		
	PLATEFORME	Valoriser l'usage de la donnée interne	Tester une plateforme innovante qui peut créer un avantage concurrentiel	
	TRANSFORMATION	Définir la gouvernance des données, les rôles clés au niveau des filiales et au niveau opérationnel et renforcer les compétences en matière de données	Tester les opportunités de partenariat avec une société d'ingénierie afin de se positionner à tous les niveaux du cycle de vie des ouvrages	
	HORIZON	1-2 ans	1-2 ans	> 5 ans

Sources : Niji (Analyse basée sur des ateliers de travail)



Publié par la direction Recherche & Développement de Bouygues Construction en Décembre 2023

REMERCIEMENTS

Jean Assanoua, Alexia Berro, Bertrand De Peufelhoux, Melvin Eble Vanhille, Gabriel de Lagrevol, Etienne Fayette, Sarra Hassen, Jonathan Jones, Clémence Leconte, Baptiste Loywick, Nicolas Michel, et Boubacar Sagna.

CRÉDITS

Publié par Thiébault Clément, Directeur R&D, Bouygues Construction // Comité éditorial : Greer Baird, Pascale Agottani, Laure Ducoulombier, Jérôme Loywick // Définition commune, cadre et examen des opportunités du marché de la construction : Niji // Traduction : Nouvel Angle // Rédaction, conception et production : Allison PR

Architectes : OMA (Tour MahaNakhon), SCAU architecture et NP2F (Arena Porte de la Chapelle), BTUA et Groupe-6 (Université Paris-Sud sur le plateau de Saclay), Gigon/Guyer Architectes (Ecole CentraleSupélec de Saclay), Valode et Pistre (Gare du Vert de Maisons)

Photos : Yves Chanoit, Arnaud Février, Jérôme Loywick, Getty Images, Adobe Stock. Certaines images ont été générées ou modifiées par l'IA.

Impression : Papier satiné certifié PEFC - Décembre 2023.