



LE JUMENTAU NUMÉRIQUE AU SERVICE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE



NOTE DE POSITION
SYNTEC-INGÉNIERIE



1. INTRODUCTION

Au niveau national, la France s'est engagée dès 2015 avec l'adoption de la première **Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)**. Cette stratégie dresse la feuille de route pour mener la transition écologique et solidaire de la France vers la neutralité carbone en 2050 - soit une division par 6 des émissions de GES par rapport à 1990 - à travers différents objectifs, dont notamment :

■ **Une décarbonation complète de l'énergie consommée dans les bâtiments en 2050** : le bâtiment est le premier secteur consommateur d'énergie et deuxième plus émetteur de GES en France (19%) - derrière les transports. Le poids carbone d'un bâtiment se répartit à 50% durant sa construction, et à 50% lors de son exploitation.

■ **Une réduction de 81% des émissions du secteur industriel en 2050 (et 35% à 2030)** : le secteur industriel représente en 2017, 17% des émissions de GES nationales.

L'industrie de la construction s'est emparée de ces enjeux et met en œuvre plusieurs stratégies pour réduire son impact carbone. L'un de ses leviers est le Jumeau Numérique des ouvrages dans le bâtiment, l'industrie et les infrastructures.

Derrière Syntec-Ingénierie, c'est toute la profession et les acteurs de la chaîne de valeur, qui se mobilisent pour le déploiement du Jumeau Numérique auprès des clients publics et privés. Et dans ce cadre, les sociétés d'ingénierie ont un rôle central puisqu'elles sont en capacité de spécifier, concevoir, intégrer et opérer le Jumeau Numérique sur tout le cycle de vie d'un ouvrage.

Cette note de position précise donc ce qu'est un Jumeau Numérique et sa contribution à la réduction de l'impact carbone des ouvrages.



2. L'INGÉNIERIE SYSTÈME : RÉPONSE NÉCESSAIRE À UNE COMPLEXITÉ CROISSANTE

L'ingénierie système est une approche globale dont le but est de maîtriser et de contrôler la conception de systèmes dont la complexité ne permet pas le pilotage simple.

Cette approche est particulièrement adaptée au contexte actuel où le changement climatique impose, notamment, des réductions drastiques de quantité de matériaux employés et d'énergies consommées durant la conception, la réalisation et l'exploitation d'ouvrages, d'équipements industriels et d'infrastructures.

Pour réaliser de telles performances sur tout le cycle de vie de ces constructions, l'ingénierie système s'appuie sur le Jumeau numérique.

3. JUMEAU NUMÉRIQUE : BRIQUE CENTRALE DE L'INGÉNIERIE SYSTÈME

DÉFINITION

Le jumeau numérique complet d'un ouvrage est une agrégation de différents modèles numériques :

- **Descriptif** : maquette numérique 3D, base de données
- **Relationnel ou fonctionnel** : liens et interactions entre les objets physiques et numériques
- **Analytique** ou « **simulateur** » : analyse comportementale de l'ouvrage soumis à diverses sollicitations (mécaniques, thermiques, énergétiques, etc.)

Ces contenus sont interopérables et sont gérés en configuration pendant la totalité du cycle de vie du système de référence : ils évoluent avec le temps et sont enrichis grâce à l'exploitation des données d'usage recueillies sur le système réel dans l'environnement opérationnel où il est plongé.

UTILISATION

Le Jumeau Numérique est un système miroir/clone virtuel de l'ouvrage réel, qui permet de l'optimiser et d'améliorer la gestion de son cycle de vie.

- En phase de spécification, et de conception préliminaire ou détaillée, il aide à initialiser le cycle de développement en objectivant les exigences attendues.
- En phase de prototypage, il permet d'optimiser les performances en les simulant de manière prédictive à partir de modèles multi physiques ou comportementaux dédiés.
- En phase de chantier ou d'industrialisation, il peut intégrer des modèles destinés à améliorer respectivement la construction et la chaîne de fabrication.
- En phase d'exploitation, couplé aux données collectées dans l'environnement opérationnel, il permet de se corriger et de s'ajuster aux comportements réels de l'ouvrage, pour en améliorer les usages.

Il permet d'optimiser la configuration opérationnelle du système principal, en fonction des conditions

environnementales mais aussi des phénomènes de vieillissement, dégradation ou défaillance qui peuvent le fragiliser, ainsi que son aptitude à maintenir ses capacités opérationnelles.

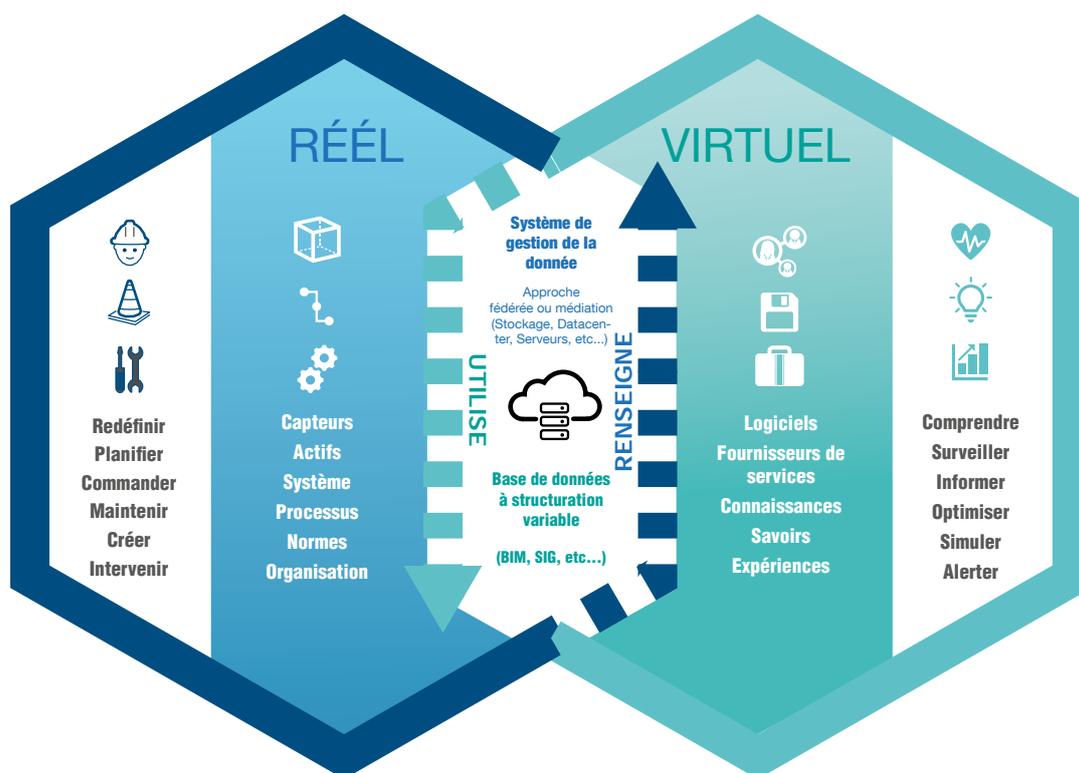
■ En phase de maintenance il permet de prédire et d'anticiper les défaillances par analyse de signaux faibles et/ou évaluation de la « RUL » (Remaining Usage Life), de réajuster les tâches de maintenance sur la base de simulations prescriptives et d'optimiser le soutien logistique intégré et les différentes ressources associées (rechange, effectif en personnel, équipement de test et de soutien...).

■ À toutes les phases du cycle de vie d'un ouvrage ou d'une infrastructure, il contribue à une économie circulaire en anticipant l'obsolescence des matériaux et matériels, en améliorant les rénovations partielles et en préparant les étapes de déconstruction, démantèlement et de mise au rebut ou de réutilisation.

La mise en œuvre d'un Jumeau Numérique nécessite une vision systémique et dynamique d'un ouvrage dans son écosystème. Les principes de l'ingénierie système s'appliquent donc parfaitement.

4. JUMENT NUMÉRIQUE ET LIENS ENTRE LA REPRÉSENTATION PHYSIQUE ET NUMÉRIQUE

SCHÉMA 1
LIENS ENTRE LA REPRÉSENTATION PHYSIQUE ET NUMÉRIQUE

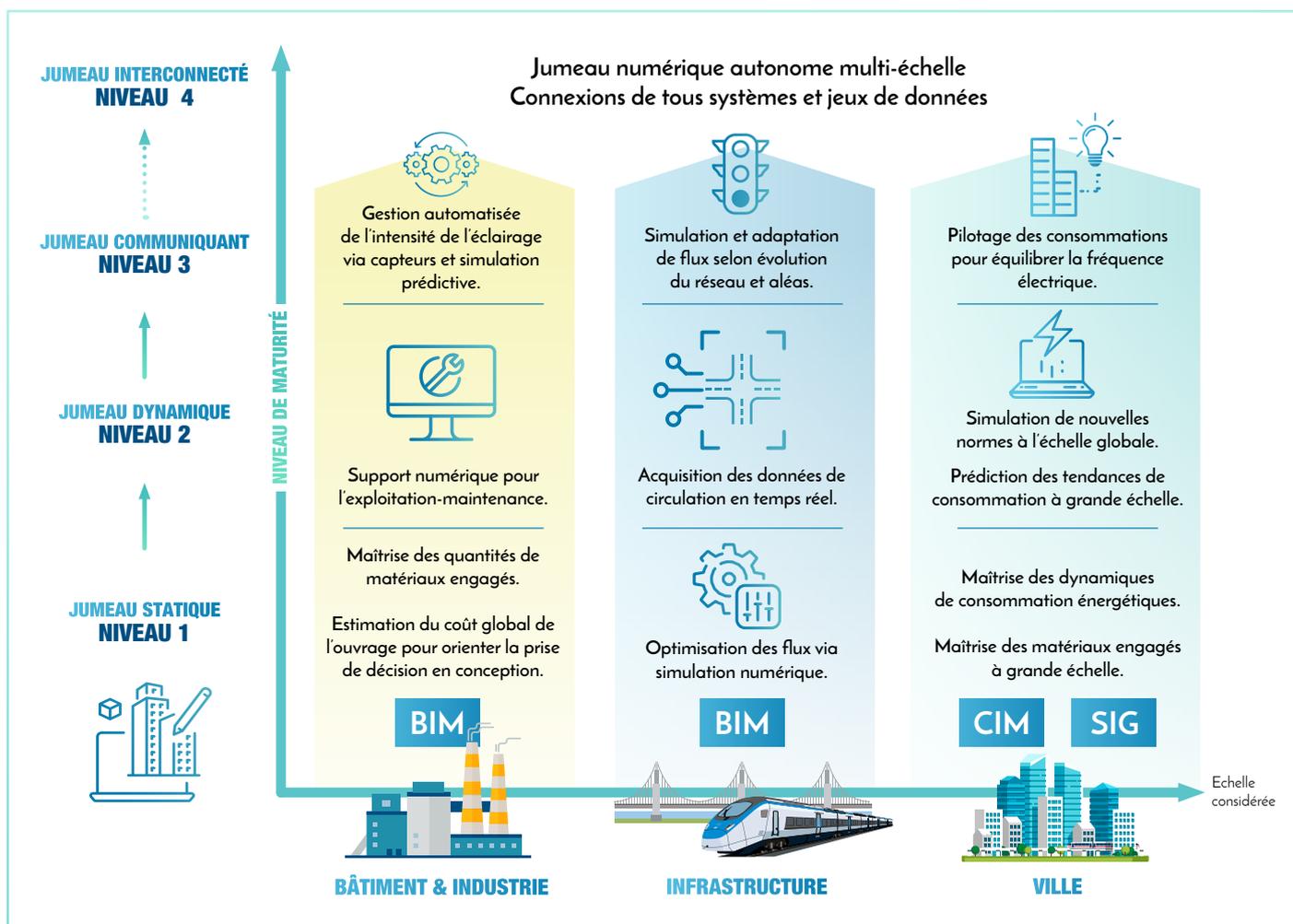


5. LA COMPLEXITÉ ET L'ÉTENDUE DU JUMEAU NUMÉRIQUE

SCHÉMA 2
LES DIFFÉRENTS NIVEAUX DU JUMEAU NUMÉRIQUE

Niveau	Type de Jumeau	Niveau d'intelligence, de complexité	Contenu du modèle numérique	Niveau d'échange des données	Utilisation, fonctionnalités
4	Jumeau interconnecté (réseau)	+++	Interconnexion de plusieurs modèles numériques formant un ensemble fonctionnel cohérent.	Échange entre différents jumeaux. Ensemble d'infrastructures. Campus. Smart city.	Permet d'organiser un fonctionnement connecté et adapté pour un ensemble d'ouvrages, d'infrastructures ou d'équipements.
3	Jumeau communicant	++	Modèle numérique avec intégration des données acquises en temps réel (capteurs, IoT, actionneurs...)	Échanges bidirectionnels entre jumeau numérique et jumeau réel ; Ex. : Smart Building, Usine 4.0	Permet de lier les données dynamiques ou temps réel d'un process pour le piloter, voire associer un algorithme qui réalise le pilotage du process.
2	Jumeau dynamique	+	Modèle numérique avec intégration des données acquises en temps réel (capteurs, IoT...)	Interface entre les systèmes opérants. Connexion unidirectionnelle. BIM GEM	Extraction des données dynamiques → constat et exploitation des données de fonctionnement, exemple : usure, maintenance prédictive...
1	Jumeau statique	0	Modèle numérique d'objets avec informations non géométriques.	Aucun échange de données - Maquette statique.	Extraction de données d'entrée statiques pour conception, calcul et simulation.

SCHÉMA 3
INCIDENCE DU JUMEAU NUMÉRIQUE SUR LES ÉCHELLES DU BÂTIMENT/INDUSTRIE, DE L'INFRASTRUCTURE ET DES TERRITOIRES



6. LES APPORTS DU JUMENTAUM NUMÉRIQUE SUR LES PLANS SOCIÉTAUX ET SUR LE PLAN DES BÉNÉFICES POUR NOS CLIENTS

Le jumeau numérique permet l'optimisation des ressources, flux et processus, sur l'ensemble de leur cycle de vie, d'écosystèmes plus ou moins complexes composés d'ouvrages, d'infrastructures, de procédés industriels et/ou de bâtiments. Cette optimisation influence favorablement l'impact sur l'empreinte climatique selon les quelques exemples suivants :

RESSOURCES

- Réduction et traçabilité des matières utilisées durant la construction et les rénovations successives.
- Maîtrise des énergies pour la construction et l'exploitation des ouvrages, infrastructures, industries et bâtiments.
- Multiplication ou mixage et distribution des sources de production d'énergie et couplage avec des usages variés. Ex. : mix énergétique à l'échelle d'un éco quartier constitué d'habitat, d'industrie et de tertiaire.
- Optimisation des surfaces : flexibilisation des espaces et mixité des usages, optimisation de la maintenance.
- Réduction de l'impact carbone en favorisant l'usage de matériaux réutilisables et de systèmes démontables et réversibles.

FLUX

- Optimisation des flux dans la ville, le bâtiment...
- Limitation des déplacements de personnes et de matériaux de construction sur les chantiers d'un territoire.
- Optimisation des flux d'informations permettant l'émergence de nouveaux services.
- Optimisation de l'intervention des différentes parties prenantes d'un écosystème.

PROCESSUS

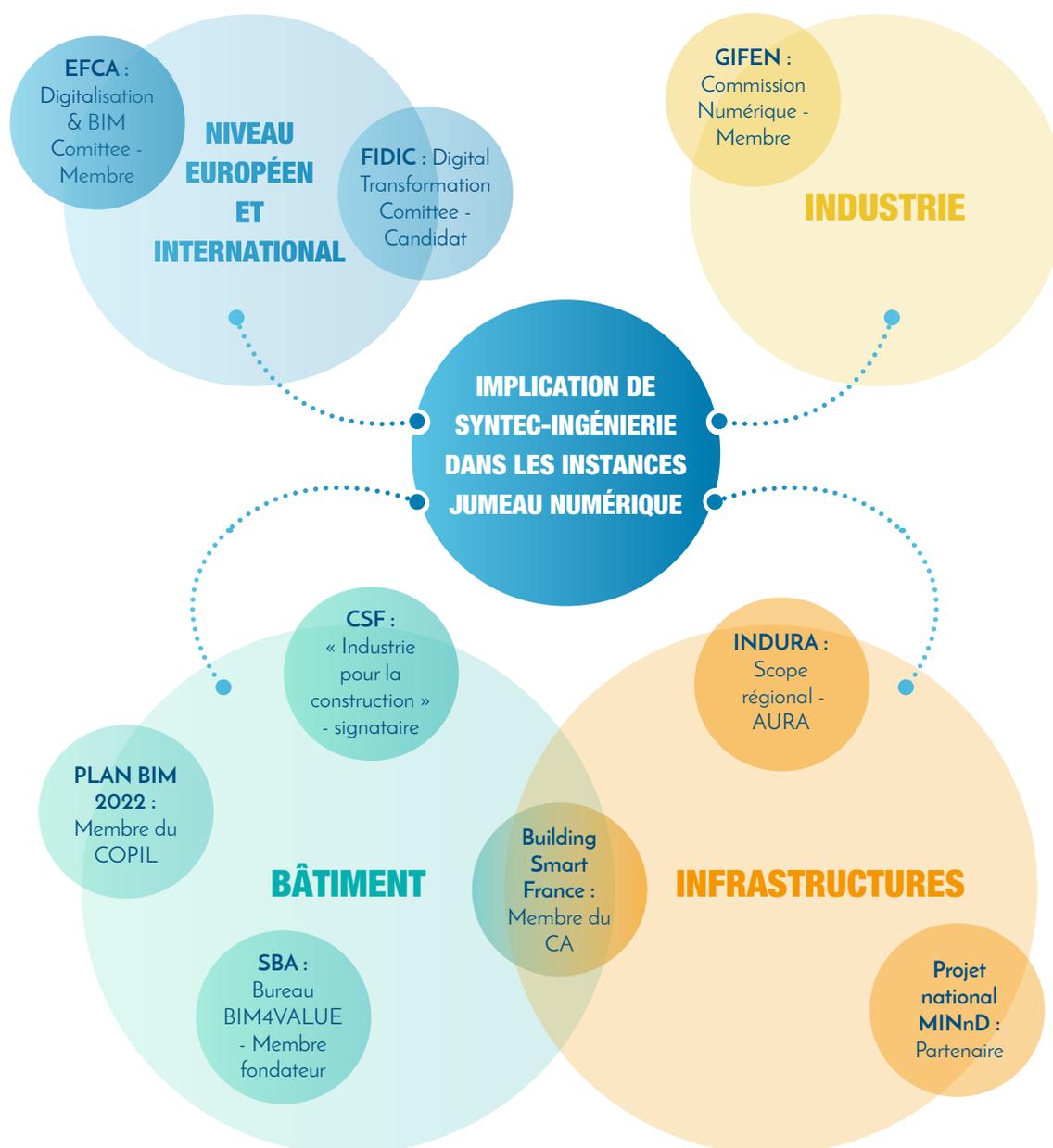
- En phase de conception : optimisation de facteurs abaissant l'impact carbone (ACV, simulation...)
- Durant le chantier : fabrication par impression 3D, scénarisation des flux en fonction de l'avancement du chantier.
- Pendant le commissionnement ou la mise en route : tests numériques validant sans frais des scénarios extrêmes tels que coupures d'énergie, attaques terroristes, etc.
- En exploitation : diagnostics facilités et intervention à distance.
- Optimisation de la rénovation : réduction des phases de rénovation en anticipant les changements.
- Anticipation de la déconstruction : traçabilité des matériaux et de l'évolution de leurs caractéristiques depuis la conception de l'écosystème jusqu'à sa déconstruction future.





LE RÔLE CLÉ ET CENTRAL DES SOCIÉTÉS D'INGÉNIERIE

Par ses nombreuses participations et contributions aux travaux collectifs, Syntec-Ingénierie joue un rôle clé et central dans le développement du Jumeau Numérique, en étroite collaboration avec les autres acteurs de la chaîne de valeur :



REMERCIEMENTS

Emmanuel ARBARETIER (Apsys) ; Benoit COUSIN (ABC Domus) ; Guillaume DESMEDT (Suez Consulting) ; Corentin GARTNER (Edeis) ; Hai-Dang LE (Vulcain) ; Timothée LEFEBVRE (Technip Energies) ; Alexander MOL (Ekium) ; Christophe PHANOUVONG (Arcadis) ; Blaise SOLA (Artelia).