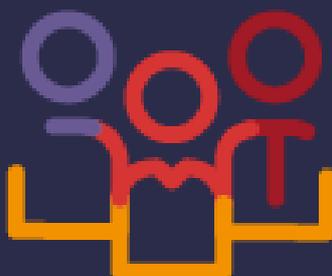


# ETUDE SUR LES BESOINS EN COMPETENCES, EMPLOI ET FORMATION CONCERNANT LE JUMENT NUMERIQUE EN FRANCE

NOVEMBRE 2023

RAPPORT FINAL : ANALYSE ET IMPACTS METIERS,  
COMPETENCES, EMPLOIS ET FORMATIONS

BVA People Consulting et S!nce & co



OPIEC

## TABLE DES MATIERES

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. LES OBJECTIFS ET LA METHODOLOGIE DE L'ETUDE</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2. LA DEFINITION Du JUMEAU NUMERIQUE</b>  | <b>6</b>  |
| 2.1. Un exercice de définition porteur d'enjeux pour les acteurs du jumeau numérique   | 6         |
| 2.2. Trois notions essentielles et partagées pour la définition du jumeau numérique  | 8         |
| 2.3. Des termes connexes importants à considérer pour positionner le jumeau numérique dans son environnement                                     | 9         |
| <b>3. LE DEVELOPPEMENT Du JUMEAU NUMERIQUE AU PLAN INTERNATIONAL</b>   | <b>12</b> |
| 3.1. Une croissance forte au plan mondial d'ici à 2030, de l'ordre de 35 à 39% par an  | 12        |
| 3.2. Un marché européen bien positionné entre l'Amérique du Nord, leader, et l'Asie-Pacifique à la croissance rapide du fait de la Chine         | 13        |
| <b>4. LE DEVELOPPEMENT &amp; LA CHAINE DE VALEUR DU JUMEAU NUMERIQUE EN FRANCE</b>   | <b>22</b> |
| 4.1. Un développement porté par les enjeux de compétitivité industrielle, de transition énergétique et environnementale, de santé et de sécurité | 22        |
| 4.2. La contribution des entreprises de la Branche au développement du jumeau numérique  | 26        |
| 4.3. Une forte croissance anticipée par les entreprises de la Branche  | 30        |
| 4.4. Focus sur les principaux secteurs d'activités en France   | 33        |
| <b>5. L'IMPACT SUR L'EMPLOI, LES METIERS ET LES COMPETENCES</b>  | <b>48</b> |
| 5.1. Cinq dimensions structurant les besoins en métiers et compétences liés au jumeau numérique  | 48        |
| 5.2 D'importants besoins de recrutements à 3-5 ans   | 58        |
| 5.3 Un effort de formation continue et des attentes de compléments dans les diplômes existants   | 65        |
| 5.4 Un jumeau numérique encore émergent dans l'offre de formation initiale et continue   | 66        |
| <b>6. PRECONISATIONS OPERATIONNELLES</b>   | <b>70</b> |
| <b>ANNEXES</b>   | <b>73</b> |

# 1. LES OBJECTIFS ET LA METHODOLOGIE DE L'ETUDE

**Le jumeau numérique est une innovation récente, au déploiement et aux usages potentiels très larges ; ainsi l'OPIIEC souhaite :**

- Disposer d'une définition et d'un diagnostic étayés et partagés du marché français du jumeau numérique, de son potentiel et de sa maturité ;
  - Evaluer les impacts sur les métiers, l'emploi et les besoins en compétences chez les entreprises productrices ou utilisatrices ;
  - Apprécier la capacité de l'offre de formation à répondre aux besoins ;
  - Construire des plans d'action opérationnels, pour accompagner entreprises et salariés dans ces mutations.

Les usages du jumeau numérique sont transverses, pluriels, ils sont susceptibles d'impacter les activités et métiers des secteurs du Numérique et de l'Ingénierie, mais également leurs clients. Le potentiel de développement et les besoins en compétences à interroger devront tenir compte de la maturité et des usages différenciés des différents secteurs.

Au final, l'enjeu de l'étude sera de **permettre aux entreprises du numérique et de l'ingénierie, via l'anticipation des besoins RH/compétences dont elles auront besoin, de répondre aux défis économiques, technologiques et écologiques auxquels le jumeau numérique peut contribuer**, à différents stades de maturité, en termes de conception et de production des solutions technologiques, et d'accompagnement des usages et de l'appropriation par les utilisateurs.

L'étude s'organise en **trois phases** :

- 1) La réalisation d'un état des lieux du domaine du jumeau numérique ;
- 2) L'analyse des besoins des entreprises et impacts métiers-compétences, et le diagnostic de l'offre de formation ;
- 3) L'élaboration de pistes d'action pour développer les compétences associées du jumeau numérique et outiller la communication de l'OPIIEC.

Pour dresser l'état des lieux du domaine du jumeau numérique en **phase 1**, différents moyens ont été mobilisés :

- 1) Une **analyse documentaire** (cf tableau récapitulatif des principales sources bibliographiques en annexe 1) ;
- 2) Un **benchmark international** ;
- 3) Des **entretiens exploratoires avec 7 experts** intervenant dans la chaîne de valeur du jumeau numérique.

En **phase 2**, les **tendances prospectives** du jumeau numérique en France et **leur impact sur les métiers et besoins en compétences et formations ont ensuite été approfondis** selon plusieurs approches :

- 1) **La conduite d'entretiens approfondis avec 27 dirigeants, experts ou professionnels** intervenant à différents niveaux de la chaîne de valeur du jumeau numérique (usages, simulation, 3D, cloud...), dans les principaux secteurs d'application (industrie, bâtiment, environnement, urbanisme, énergie, santé...) ;

- 2) **Une enquête en ligne auprès d'entreprises du numérique et de l'ingénierie** intervenant dans cette chaîne de valeur ;
- 3) **L'analyse d'une soixantaine d'offres d'emploi** en lien avec le jumeau numérique publiées entre avril et juillet 2023 ;
- 4) **L'analyse des fiches-métiers et des compétences** du référentiel OPIIEC, notamment pour les secteurs Numérique et Ingénierie ;
- 5) **L'analyse de l'offre de formation intégrant une composante 'jumeau numérique' (dont 2 entretiens avec des enseignants).**

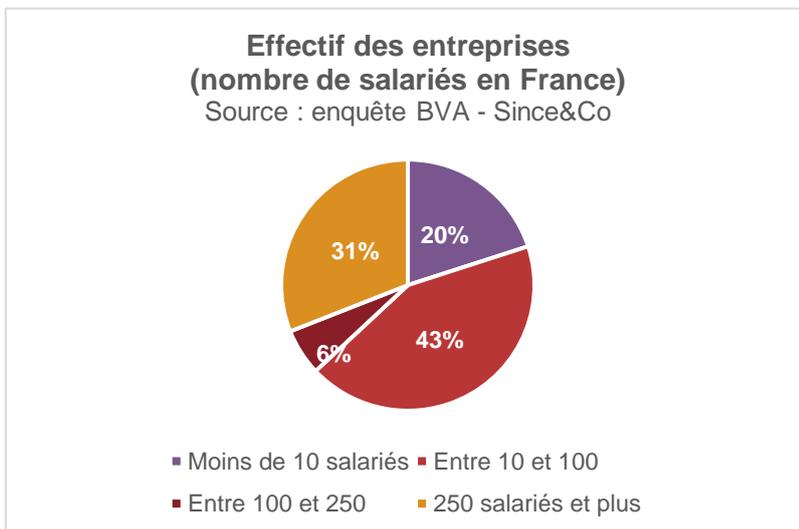
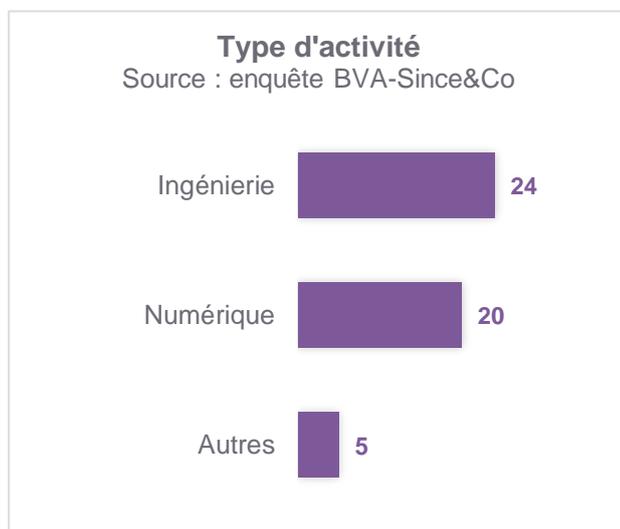
En **phase 3**, un atelier a été organisé avec les membres du Comité de pilotage pour prioriser et préciser les  **pistes d'actions**  préconisées à l'issue de l'étude.

Les 36 dirigeants, experts, professionnels et enseignants interrogés dans le cadre de cette étude sont les suivants :

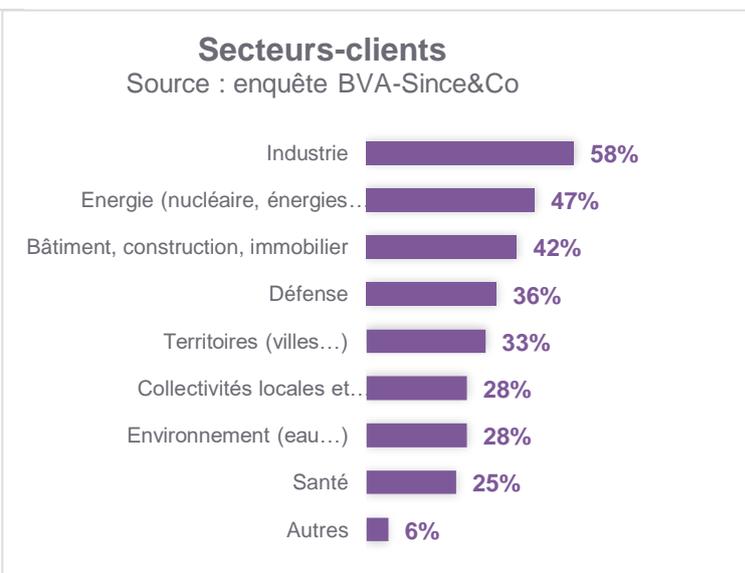
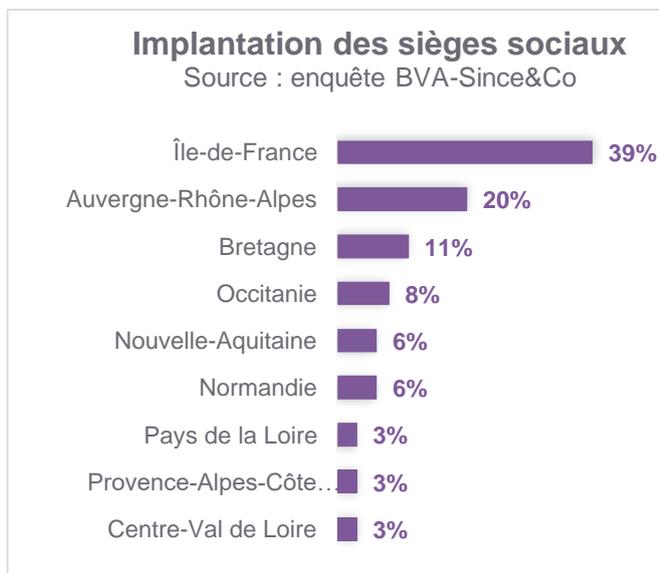
|   |
|---|
| Thierry ALBERT, Président et directeur innovation et usages BEAMCUBE, Trésorier Building Smart France   |
| Claude ANDRIOT, Expert senior CEA et participant du projet JENNI (Jumeaux d'enseignement numériques immersifs et interactifs)                           |
| Emmanuel ARBERETIER, Directeur technique, EADS APSYS  |
| Didier BALAGUER, PDG Fondateur DatBIM   |
| Jérémy BELLEC, Président SpinalCOM  |
| Mohamed DENNOUN, Directeur du Patrimoine Numérique, BIM & Digital Twin Manager, Foncière immobilière / Route des lasers                                 |
| Guillaume DESMEDT, Directeur Déploiement BIM, Suez Smart Solutions / Suez Consulting Engineering  |
| Alain DESPIAU-PEYRALADE, Expert Digital twin EDF  |
| Pascal DUBUIS, Dirigeant Inoprod, membre du CA de Pôle CIMES, pilote de la commission de déploiement Jumeau Numérique Europe                            |
| Valérie FERRET, Edu VP 3DS / Dassault Systèmes  |
| Nicolas FERRERA, Responsable d'activités Services & Jumeaux numériques pour l'E&M Rail et Directeur programme Jumeaux numériques du Groupe Egis         |
| Fahad GOLRA, Research & Innovation Coordinator AGILEO Automation  |
| Sébastien GOUDE, CEO REOVIZ   |
| Jean-Eudes GUILHOT-GODEFROY, Directeur Centre Excellence Assystem, membre de la Commission Numérique du Gifem   |
| Nicolas HASCOET, Maître de conférences, ENSAM   |
| Eric JOYEN CONSEIL, CEO, KEYVEO   |
| Sébastien KUBICKI, Coordinateur projet, Lab-STICC   |
| Rémi LANNOY, Ingénieur Responsable Département Construction Numérique & BIM du CERIB (Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton)         |
| Antoine LASNIER, Chief Operating Officer, Light & shadows   |
| Bertrand LECHABLE, Ingénieur composants logiciel, Intervenant Jumeau numérique Thalès   |
| Maxime LEFRANCOIS, Professeur associé, Ecole des Mines de Saint Etienne   |
| Franck LORGERY, Directeur Prescription/Normalisation Siemens, Président du GESI (Groupement Français des industries électroniques de sécurité incendie) |
| Jérôme MAYET, Directeur Activité Bâtiment SETEC, Président BIMFORVALUE  |
| Philippe MILTIN, CEO OUTSCALE   |
| Remy NAVARRO, Chef de projet Bâtiment-Numérique OMNIA   |
| Emmanuel OLIVIER, Président Ubiant  |
| Thomas PERPERE, Directeur Business Development, Business Partner Capgemini ou Capgemini Engineering   |
| Philippe POULART, Directeur de l'Ingénierie Bâtiment Dalkia   |
| Matthieu PUYOT, directeur du Développement scientifique et expert en simulation numérique Ingéliance  |
| Mathieu RIMAUD, Co-fondateur Twinsight  |
| Sylvain RISS, directeur Numérique & BIM BG Ingénieurs Conseils  |
| Philippe ROCARD, PDG ITECA  |
| Thomas ROUSSELOT, Chef de projet AFNeT Services   |
| Blaise SOLA, Directeur de projet Smart & Digital, Artelia Facility & Asset management   |
| Thierry YALAMAS, PDG Phimeca  |
| Hélène XU, Chef de projet Normalisation numérique AFNOR   |

L'enquête en ligne, réalisée entre le 6 juillet et le 21 août 2023, a permis de compléter les éléments issus des entretiens, par la réponse de **36 entreprises du Numérique et/ou de l'Ingénierie, ayant l'expérience d'au moins un projet de jumeau numérique**. Leur **profil** est le suivant :

- Elles exercent, dans des proportions similaires, une activité relevant de **l'ingénierie** (24 sur 36) ou du **numérique** (20 sur 36). Un tiers d'entre elles couvrent les **deux types d'activités**.
- Les **2/3** des entreprises sont des **PME** (69% comptent moins de 250 salariés en France).



- Au plan **géographique**, les sièges sociaux de **près de 4 entreprises sur 10** se concentrent en **Île-de-France** (39%), suivi d'**Auvergne-Rhône-Alpes** (20%).
- Les **secteurs-clients** de ces entreprises apparaissent diversifiés, depuis **l'industrie**, secteur le plus représenté (58%), suivi de **l'énergie** (47%) et du **bâtiment/construction** (42%), jusqu'à la **santé** (25%). A noter : les entreprises de l'ingénierie et du numérique pouvant avoir des relations clients-fournisseurs entre elles, ces domaines apparaissent également dans cette liste des secteurs-clients



Au global, les 36 entreprises représentent **15 282 salariés** en France, dont **888** intervenants dans la chaîne de valeur du jumeau numérique, soit en moyenne **6% de l'effectif**. Ce poids est très variable d'une entreprise à l'autre : pour **un tiers**, les salariés travaillant sur des projets de jumeau numérique représentent **moins de 10% de l'effectif**, tandis que pour plus d'**un quart**, ils couvrent **100% de l'effectif**. Ces entreprises, dont l'activité est totalement dédiée au jumeau numérique, ont toutes **moins de 15 salariés**.

# 2. LA DEFINITION DU JUMEAU NUMERIQUE

## 2.1. Un exercice de définition porteur d'enjeux pour les acteurs du jumeau numérique

Les entretiens et la recherche bibliographique ont fait ressortir **un nombre important de définitions du jumeau numérique** (« digital twin », en anglais). Nombre d'entre elles sont **sectorielles** et ne prétendent pas définir le jumeau numérique de façon universelle.

Du fait du caractère évolutif et de la diversité des usages du jumeau numérique, il est apparu que la communication d'une **définition adéquate et compréhensible** représentait **un enjeu important** pour de nombreux acteurs du marché. Pour ces acteurs institutionnels ou privés, il s'agit de **porter leur vision du jumeau numérique** et de le **distinguer d'autres concepts, appellations ou technologies** qui, de leur point de vue, ne sont pas suffisants pour constituer un jumeau numérique ou s'en distinguent (ex. : métavers).

Différents enjeux apparaissent ainsi associés à la formulation d'une **définition partagée** :

- ➔ Eviter, dans la mesure du possible, un **usage inapproprié et trop « marketing »** du jumeau numérique (ex. : *utiliser le terme « jumeau numérique » pour une technologie ne correspondant, du point de vue de certains experts, qu'à une maquette numérique*).
- ➔ Favoriser la compréhension du jumeau numérique par les **décideurs et acteurs susceptibles d'influer son développement**.

C'est, par exemple, le cas vis-à-vis de la **consultation publique sur les perspectives et attentes des univers virtuels immersifs** lancée le 11 avril 2023 par le ministre délégué chargé de la Transition numérique et des Télécommunications (cf. ci-contre).

En effet, il s'agit, pour un expert interviewé, de faire comprendre la différence entre le jumeau numérique et d'autres technologies et concepts (ex. : métavers, réalité virtuelle) en mettant en évidence **son lien et ses objectifs toujours orientés vers le réel** (« jumeau »).

**CONSULTATION PUBLIQUE SUR LES « UNIVERS VIRTUELS À LA FRANÇAISE »**

\*\*\*\*\*



Le ministre délégué chargé de la Transition numérique et des Télécommunications a lancé une consultation publique sur les univers immersifs virtuels. Que vous soyez une entreprise, une association, un centre de recherche ou un citoyen, vous avez la possibilité d'y prendre part jusqu'au 2 mai 2023.

APP A PROJETS

PRESE

FAQ

CONTACT

ETUDES

EVENEMENTS

AUTRES SITES

© Choochart Choochart / Getty Images

On appelle univers immersif virtuel (aussi « metavers ») un service en ligne donnant accès à des simulations d'espaces virtuels qui permet à ses utilisateurs d'être immergés dans une autre réalité que le monde physique qui les entoure et d'interagir, en temps réel, avec les autres utilisateurs et leurs environnements virtuels par l'intermédiaire d'un avatar.

Les univers immersifs virtuels de demain pourront revêtir plusieurs formes et modalités d'usage, en prenant appui sur des **socles technologiques variés** : réalité virtuelle, réalité augmentée, réalité mixte, blockchain, jumeaux numériques, logiciels de création 3D, moteurs de jeu, etc.

Depuis plusieurs mois, le développement des univers immersifs virtuels s'est imposé dans le débat économique, beaucoup d'entreprises se positionnant soit comme offreurs de solution, soit comme utilisateurs. Au-delà des effets de mode, il semble aujourd'hui, *a minima*, qu'une **transition numérique immersive se profile**.

Ce questionnaire a pour but de permettre aux différentes parties prenantes (citoyens, entreprises, associations, chercheurs) de s'exprimer sur leurs attentes face à cette nouveauté afin de concevoir une stratégie française capable d'anticiper cette transition, sous l'angle des **bricks technologiques importantes** et de proposer une **alternative** aux univers immersifs virtuels aujourd'hui proposés par les géants internationaux.

Cette consultation est complémentaire des différents travaux menés par le ministère de la Culture.

Source : <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/numerique/politique-numerique/consultation-publique-univers-virtuels-francais>

Pour plusieurs experts, l'enjeu est aussi de mettre en évidence **l'association systématique des données** (« data ») à la **représentation virtuelle** (« maquette numérique », « maquette 3D ») dans un jumeau numérique, pour faire en sorte que **les questions de propriété, d'interopérabilité et de gouvernance des données** soient prises en compte dans le développement du jumeau numérique.

- ➔ Enfin, la mise au point d'une définition commune peut viser à faciliter **le dialogue entre opérateurs d'un même domaine** (ex : Internet des objets-IoT), **d'une même filière** (ex. : construction), voire au plan **intersectoriel** autour du jumeau numérique.

A ce titre, citons la **commission de normalisation** Jumeau numérique (AFNOR/CNJN) lancée par l'AFNOR suite au constat de travaux normatifs réalisés ou initiés en France ou au plan international, sans concertation entre les différents secteurs d'activité.

Cette commission relève du Comité Stratégique Information, Communication, Numérique (CoS ICN) et du Comité Stratégique Electro-technologies (CoS ETEC). Elle vise à permettre **un partage de définitions, cas d'usages, etc. à l'échelle intersectorielle, pour favoriser l'obtention d'un socle commun (terminologie, etc.)**, pouvant ensuite être décliné, si nécessaire, au plan sectoriel.

La Commission suit, en miroir, des travaux développés au niveau international :

- ISO/IEC JTC 1/SC 41 - *Internet des objets connectés et jumeau numérique* (normalisation dans le domaine de l'Internet des objets et du jumeau numérique, y compris leurs technologies connexes).
- ISO/IEC/JTC 1/SC 7 - *Ingénierie du logiciel et des systèmes* (normalisation des processus, des outils d'aide et des technologies d'aide pour l'ingénierie des produits et systèmes logiciels).

Nombre d'acteurs se disent en attente de la publication de ce socle intersectoriel.

Une **sélection de définitions**, issues de l'analyse documentaire et d'entretiens avec des experts et professionnels de différents secteurs, est présentée ci-dessous :

*« Un jumeau numérique est une représentation virtuelle d'entités et de processus du monde réel, synchronisés à une fréquence et une fidélité spécifiées, qui utilisent des données historiques et en temps réel pour représenter le passé et le présent et simuler des futurs prédicts ».*

**Organisation mondiale Digital Twin Consortium,**  
regroupant les plus grands éditeurs de solutions pour la création et l'utilisation du jumeau numérique

*« Représentation numérique adaptée à l'usage d'un élément de fabrication observable, avec synchronisation entre l'élément et sa représentation numérique » (traduction littérale de l'anglais : « fit for purpose digital representation (3.2.2) of an observable manufacturing element with synchronization between the element and its digital representation »).*

**ISO, organisation internationale de normalisation, dans la norme ISO 23247-1:2021 3.2.3**  
'Systèmes d'automatisation industrielle et intégration — Cadre technique de jumeau numérique dans un contexte de fabrication'

*« Le « jumeau numérique » (digital twin) est la réplique digitale, modélisation d'un objet ou ensemble d'objets déjà existant ou en projet. S'il s'ancre souvent dans une réalité et un environnement réel, le jumeau numérique peut être dans certains cas un modèle complètement déconnecté (virtual twin). Si un jumeau numérique est le plus souvent représenté en 3D, parfois visualisé en réalité augmentée, mixte ou virtuelle, ou bien encore dans un environnement immersif de type métavers, il peut aussi être purement schématique ».*

**BuildingSmart / Twin+**

*« Le Jumeau Numérique représente le double numérique d'une entité physique, d'un produit. Dans le monde de la construction, le Jumeau Numérique permet de décrire l'évolution d'un modèle et de ses actifs au cours de leur cycle de vie. Il permet de les suivre et de les surveiller depuis leur construction jusqu'à leur déconstruction. Il regroupe un ensemble d'informations issues de plusieurs processus : des données statiques produites lors de la construction (modèles BIM, 2D...), des données de simulation, des données récoltées via des capteurs et objets connectés, des données issues de l'IA (Intelligence Artificielle), de différents services de cloud computing (modèles informatiques permettant un accès à des services via Internet), des données de maintenance et d'exploitation (contrat, demande d'intervention, ordre de modification...). »*

**CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment)**

« ... une maquette numérique dynamique et intelligente de la ville qui :

- Intègre des données statiques et dynamiques (en temps réel), publiques ou privées, dans un environnement de référence unique ;
- Constitue un système d'information consolidé qui intègre les outils métiers (de cartographie, de planification, de e-administration, etc.)

La visualisation 3D qu'offre le jumeau numérique facilite la contextualisation et la compréhension des données urbaines ».

**Banque des territoires**, acteur majeur du développement des territoires français, dans sa parution « *Miroir, miroir...le jumeau numérique du territoire* » (2021)

## 2.2. Trois notions essentielles et partagées pour la définition du jumeau numérique

L'analyse de ces différentes définitions, ainsi que les entretiens avec les experts et professionnels, font apparaître **trois notions partagées** malgré les différences de contextes et d'utilisation :

### 1 - Notion de double numérique

Le jumeau numérique apparaît comme un modèle numérique, une représentation virtuelle d'un élément du monde réel pour répondre à des usages déterminés.

### 2 – Notion de flux de données et de connexion au réel

Cette notion correspond à la connexion du jumeau numérique à son élément réel par la synchronisation et l'historisation de flux de données définies. De manière sous-jacente, la collaboration et la communication des données entre utilisateurs de jumeau numérique apparaissent également importantes.

### 3 – Notion d'outils de simulation, d'aide à la compréhension et la prise de décision

Cette notion correspond à la capacité à analyser des données, créer des scénarii et des simulations, dans l'objectif de comprendre le fonctionnement, d'anticiper des situations ou états futurs de l'objet réel et d'aider à la prise de décision.

Ces notions recouvrent totalement **les 3 critères proposés par l'Alliance Industrie du Futur** pour qualifier un jumeau numérique :

« Pour être qualifié de Jumeau Numérique, un système doit répondre à ces 3 critères à la fois :

- Un Jumeau Numérique est un ensemble organisé de modèles numériques représentant une entité du monde réel pour répondre à des problématiques et des usages spécifiques.
- Le Jumeau Numérique est mis à jour par rapport au réel, à une fréquence et une précision adaptées à ses problématiques et à ses usages.
- Le Jumeau Numérique est doté d'outils d'exploitation avancés permettant notamment de comprendre, analyser, prédire et optimiser le fonctionnement et le pilotage de l'entité réelle. »

**Alliance Industrie du Futur, regroupant de nombreux acteurs industriels, unions des métiers et académiques,**

dans sa parution « *Jumeau numérique, levier majeur de la transformation digitale et de l'Industrie* » (mars 2023)

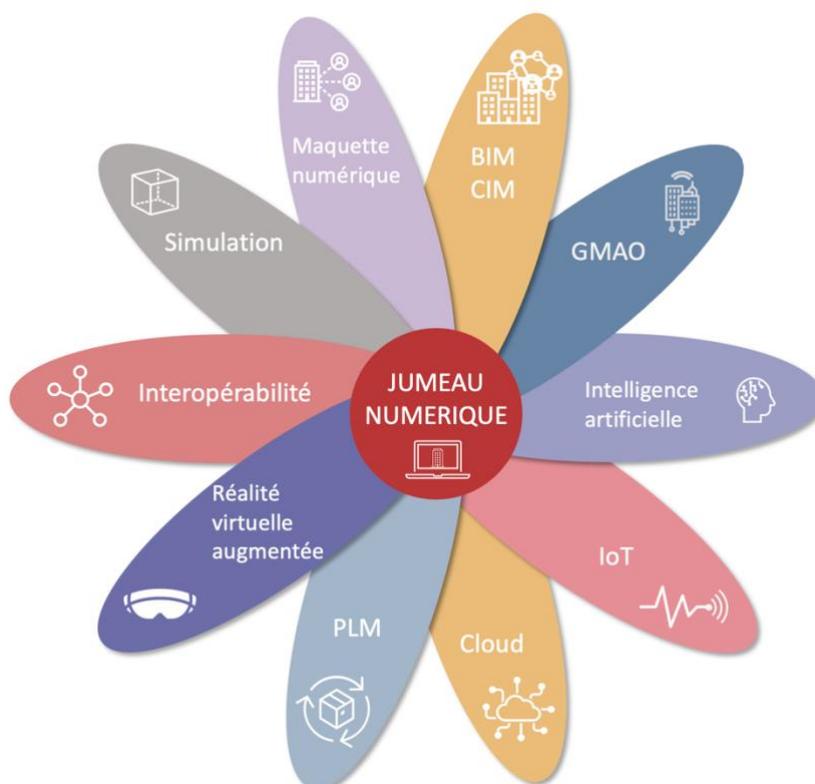
**Dès lors, la définition retenue pour le jumeau numérique et combinant ces notions est la suivante :**

« Le jumeau numérique est le double numérique d'un objet, processus ou système réel, composé d'applications et données interopérables et élaborés pour répondre à des usages bien définis. Il est alimenté par des flux de données provenant de l'entité réelle selon une fréquence définie, pour s'ajuster aux besoins et usages en conditions réelles. Il permet de comprendre, analyser et prédire le comportement de l'entité réelle, afin d'aider à la décision dans son pilotage et son exploitation. »

## 2.3. Des termes connexes importants à considérer pour positionner le jumeau numérique dans son environnement

Les entretiens avec les acteurs de la chaîne de valeur du jumeau numérique ont fait ressortir **des termes connexes fréquemment associés au jumeau numérique**. La **relation, différence ou complémentarité** de ces termes par rapport au jumeau numérique est importante à considérer pour positionner le jumeau numérique de manière adaptée dans un environnement conceptuel et numérique plus large.

### Terminologie associée au jumeau numérique BVA et SINCE&Co



La **définition** de chacun de ces termes et leur **relation au jumeau numérique** sont détaillées ci-dessous :



### Maquette numérique

*Représentation numérique statique d'un objet ou ensemble d'objets, généralement en 3D*

La maquette numérique fait partie des **briques technologiques** d'un jumeau numérique, mais **ne constitue pas un jumeau à elle seule** puisqu'elle n'est pas dynamique. N'étant pas connectée à l'objet réel, elle n'a pas la capacité à évoluer en fonction des données et conditions réelles.

*Nota : certaines publications considèrent la maquette numérique comme la première marche du jumeau numérique.*



### BIM (Building Information Modeling)

*Process de travail collaboratif, basé sur l'utilisation d'une représentation numérique partagée d'un ouvrage ou infrastructure pour faciliter les processus de conception, de construction et d'exploitation, de manière à constituer une base fiable permettant les prises de décision.*

*Domaines : bâtiment, construction...*

Le BIM aboutit à la **production d'un jumeau numérique**, intégrant des données statiques en phase de conception et des données dynamiques issues du bâti réel en phase de construction ou d'exploitation.



### PLM (Product Life Management)

*Processus, technologies, logiciels et méthodes, visant à optimiser les flux de données nécessaires à la gestion du cycle de vie d'un produit, depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie.*

*Domaine : principalement dans l'industrie*

Dans l'industrie, le **jumeau numérique s'appuie fréquemment sur le déploiement de systèmes de gestion des données liées au cycle de vie des produits, tels que le « PLM »**. Les données statiques du PLM alimentent le jumeau numérique qui permet, grâce à la représentation 3D, de mieux comprendre, simuler et anticiper le cycle de vie du produit. Le jumeau peut **fournir des informations dynamiques issues du produit réel** (performance, conditions d'environnement...) et enrichir le PLM et ses analyses.



### CIM (City Information Management)

*Process de travail collaboratif, basé sur l'utilisation de modèles numériques partagés d'une ville ou d'un territoire, pour accompagner les acteurs dans la prise de décision relative à l'aménagement, la mobilité, l'environnement, etc.*

*Domaines : urbanisme, mobilité, environnement...*

Le CIM aboutit à la **production d'un ou plusieurs jumeau(x) numérique(x)** de la ville, d'un quartier ou autre territoire.



### Simulation

*Représentation virtuelle d'un système physique ou d'un processus, permettant de modéliser et de prédire son comportement.*

La **simulation** constitue **l'un des usages du jumeau numérique**.

La **simulation** se concentre généralement sur des **processus spécifiques** ; pour les **systèmes complexes**, le jumeau numérique offre un environnement virtuel permettant **d'étudier plusieurs processus et de faire des modélisations et prédictions à l'échelle globale du système**, nourries par les données issues de l'objet réel.



### GMAO (gestion de maintenance assistée par ordinateur)

*Processus de travail basé sur l'utilisation d'un logiciel qui centralise les informations de maintenance et de gestion d'intervention pour un ouvrage, une infrastructure ou un ensemble donné.*

*Domaines : bâtiment, construction, industrie*

La **GMAO** se concentre sur la **gestion opérationnelle** des activités de maintenance et fournit des **données réelles sur la maintenance** qui peuvent alimenter le jumeau numérique. Le **jumeau numérique** fournit une **représentation virtuelle** et permet de **simuler et d'analyser le comportement de l'actif** (ex : détection des anomalies ou les défaillances potentielles), ce qui peut aider à prendre des décisions éclairées en matière de **maintenance préventive et prédictive**, et **améliorer les stratégies de maintenance** mises en œuvre dans la **GMAO**.



### Internet des objets (ou IoT pour Internet of things)

*Processus de connexion d'objets physiques à Internet et réseau reliant ces objets, permettant de collecter de données en temps réel à des fins de surveillance, analyse, optimisation...*

L'**Internet des objets** joue un **rôle essentiel** en **fournissant au jumeau numérique, à partir de capteurs, les données réelles liées à l'objet ou son environnement**. La transmission et l'analyse de ces données permet, selon la finalité du jumeau, d'améliorer la compréhension du comportement de l'objet physique, de limiter ses impacts environnementaux, de mieux prédire



## Intelligence artificielle (IA)

Ensemble des théories et techniques développant des programmes informatiques complexes capables de reproduire certains traits de l'intelligence humaine (raisonnement, apprentissage, créativité...). Intègre le **machine learning** : développement de la capacité d'une machine à tirer des enseignements des données et à s'améliorer avec l'expérience.

L'IA peut être utilisée pour **alimenter et améliorer les capacités d'analyse et de prédiction d'un jumeau numérique**. Par exemple, en utilisant des techniques d'apprentissage automatique, l'IA peut analyser de grandes quantités de données provenant du jumeau pour découvrir des modèles, optimiser les performances... Le **jumeau numérique** peut également être utilisé pour **améliorer les performances de l'IA**, en fournissant des données précises et actualisées sur l'objet réel et son environnement.



## Cloud computing (informatique en nuage)

Pratique, infrastructures et services liés à l'utilisation d'un réseau interconnecté de serveurs informatiques à distance, hébergés sur Internet, pour stocker, gérer et traiter des données.

Le **jumeau numérique** peut **s'appuyer sur les infrastructures et services du Cloud** pour stocker et gérer ses données statiques et dynamiques, permettre la réalisation de calculs intensifs, accéder à des ressources supplémentaires et communiquer avec d'autres systèmes connectés.



## Interopérabilité

Capacité que possède un système informatique à fonctionner avec d'autres produits ou systèmes informatiques, existants ou futurs, sans restriction d'accès ou de mise en œuvre.

Reproduisant le plus souvent des systèmes complexes, les jumeaux numériques utilisent **des données et objets numériques issues de différentes sources**. L'interopérabilité a pour objectif de **faciliter le rapprochement des données et objets, leur visualisation et leur analyse** dans un ensemble cohérent constituant le jumeau numérique.



## Réalité virtuelle

Technologies informatiques qui permettent de simuler la présence physique d'un utilisateur dans un environnement numérique & **Réalité augmentée**

Technologies permettant d'intégrer des éléments virtuels au sein d'un environnement réel.

**La réalité virtuelle se distingue du jumeau numérique**, par son caractère immersif et ses environnements pouvant être imaginaires. Toutefois, **certains usages convergent**, avec le **jumeau numérique immersif** utilisé comme la réalité virtuelle ou augmentée, pour la **formation d'opérateurs**, la **préparation d'interventions en site sensible** ou **d'opérations chirurgicales**, par exemple.

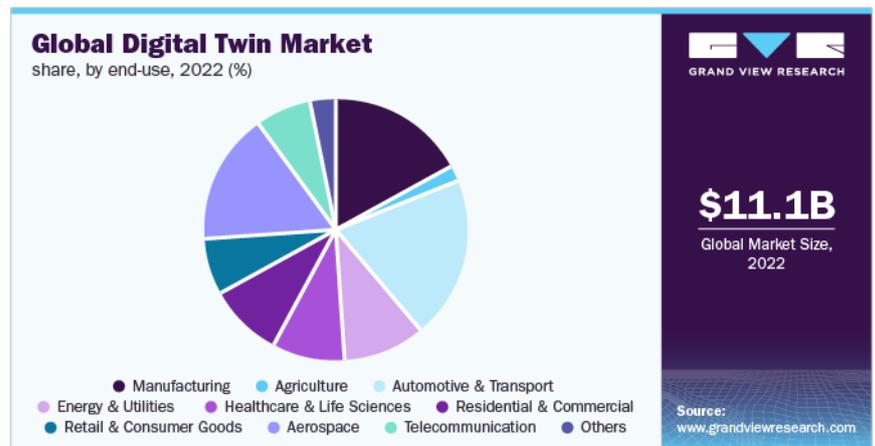
# 3.

## LE DEVELOPPEMENT DU JUMENTAU NUMERIQUE AU PLAN INTERNATIONAL

### 3.1. Une croissance forte au plan mondial d'ici à 2030, de l'ordre de 35 à 39% par an

Dès 2018, l'institut Gartner plaçait le jumeau numérique dans le **top 10 des technologies stratégiques** à intégrer dans son entreprise. Aujourd'hui, les différents cabinets d'études stratégiques mondiaux, malgré quelques différences de chiffres (cf annexe 2), s'accordent sur un **marché de l'ordre de 7 à 11 Mrd\$ en 2022** et sur une **trajectoire de fort développement - 35% à 39% par an** - permettant d'atteindre, selon les cabinets, **126 à 156 Mrd\$ en 2030**.

Selon l'étude *Digital Twin – Tendances 2030* de GVR (Grand View Research), le **secteur de l'automobile** constitue, en 2022, le **marché du jumeau numérique le plus développé** (20% du marché mondial), devant **l'aéronautique** et les autres secteurs de **l'industrie manufacturière** (semi-conducteurs électriques...). D'autres secteurs sont développés de manière significative : Energie, Bâtiment, Santé et, dans une moindre mesure, Commerce et Télécommunications.



Le **développement mondial de la technologie du jumeau numérique** s'appuie principalement sur :

- le **besoin des entreprises d'optimiser la performance des processus et systèmes, de réduire les coûts et de limiter les temps de mise sur le marché.**
- la **croissance des marchés parallèles de l'Internet des objets (IoT) et de la gestion et l'analyse de données massives** (plateformes Cloud, big data, intelligence artificielle...). A noter : l'institut Statista estime que le **marché des objets connectés devrait passer de 250 Mrd\$ en 2022 à 621 Mrd\$ en 2030**. Aujourd'hui, les entreprises de tous secteurs déploient des technologies associant IoT et IA pour collecter et interpréter les données comportementales issues des objets connectés. Il sera alors plus aisé de **les appliquer au modèle de jumeau numérique** pour reproduire, simuler et optimiser l'utilisation et les performances du système réel.
- **les avancées dans le domaine de la réalité virtuelle.**

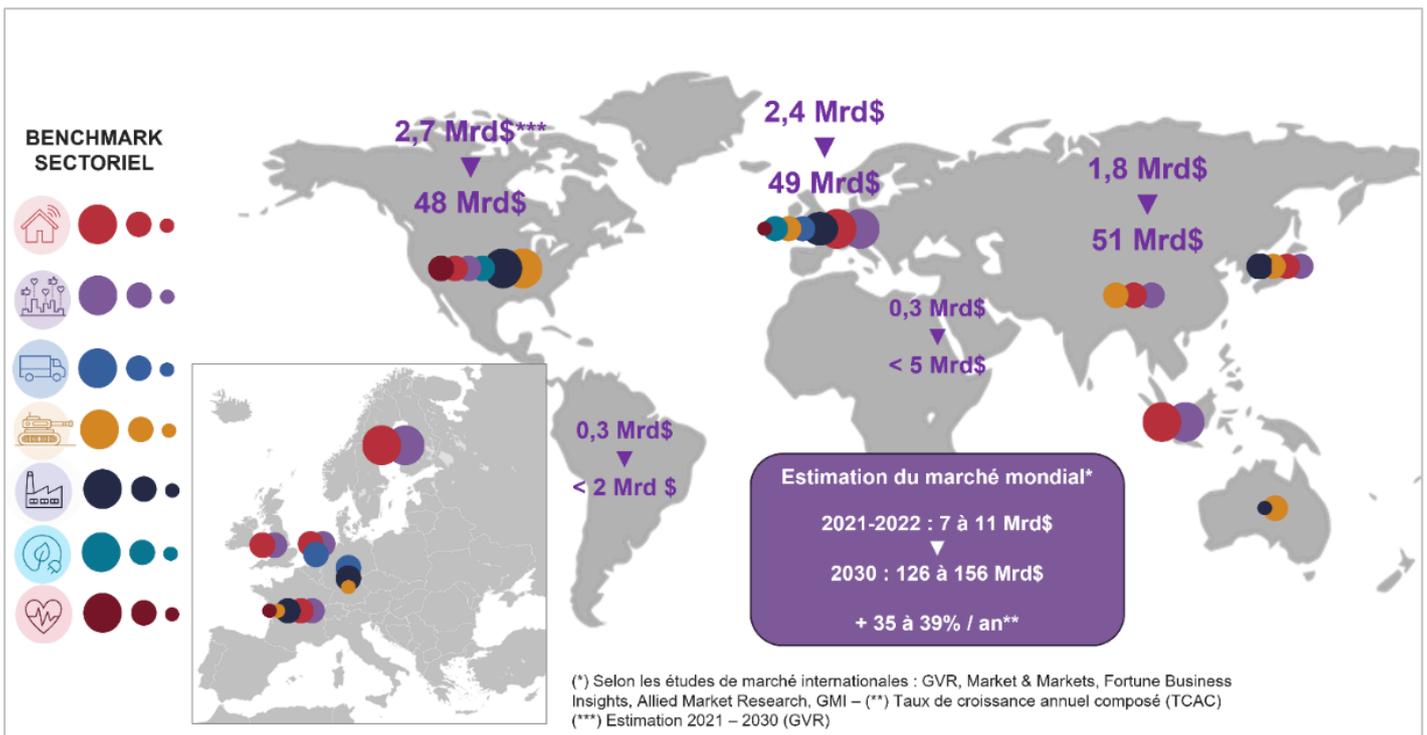
Il faut néanmoins nuancer ces prévisions au regard des **préoccupations sur la confidentialité et la sécurité des données liées au jumeau numérique**. Leur utilisation impliquant l'intégration des technologies parallèles que sont

l’IoT, le Big Data ou l’IA, elle augmente les portes d’entrée pour les hackers ou autres entreprises malveillantes. La guerre en Ukraine a fait exploser le nombre de cyberattaques (400% depuis le début des affrontements, selon Ellisphere) qui pourraient coûter 10 500 Mrds en 2025 aux entreprises de la planète. Le manque de professionnels qualifiés rend d’autant plus difficiles le développement et l’exécution efficace des stratégies de cybersécurité. Les législations sur la **protection des données personnelles telle que le RGPD**, différentes selon les régions et les pays, pourront représenter un frein à un développement homogène mondial du jumeau numérique.

### 3.2. Un marché européen bien positionné entre l’Amérique du Nord, leader, et l’Asie-Pacifique à la croissance rapide du fait de la Chine

Selon l’étude *Digital Twin–Tendance 2030* de GVR, l’**Amérique du Nord** constitue actuellement le **premier marché du jumeau numérique** (estimé à 2,7 Mrd\$), suivie de près par l’**Europe** (2,4 Mrds\$) et la zone **Asie-Pacifique** (1,8 Mrd\$). Ces zones géographiques se distinguent par des **niveaux de développement variables des secteurs d’application** du jumeau numérique, comme l’illustre la carte ci-dessous.

L’Asie-Pacifique devrait connaître **une croissance un peu plus forte** (taux de croissance annuel composé de plus de 40%) que l’Amérique du Nord et l’Europe, et atteindre, en 2030, un marché de l’ordre de **51 Mrd\$**. La prévision de développement relativement homogène de ces trois zones peut s’expliquer par la **présence mondiale des principaux acteurs et producteurs de plateformes supports** de jumeau numérique (Dassault systèmes, General Electric, Siemens, Ansys, PTC, ABB, Bentley Systems...), ainsi que des **fournisseurs de Cloud et services** comme AWS, Oracle ou IBM.



## ➔ AMERIQUE DU NORD (USA, CANADA)

Par la présence de plusieurs grands acteurs du marché du jumeau numérique (General Electric, IBM, Bentley systems, Ansys...), l'Amérique du Nord constitue le **premier marché du jumeau numérique** (de l'ordre de 36 à 40% du marché mondial, selon les études).

Les **secteurs industriels (automobile, aéronautique, électronique...)** sont les premiers utilisateurs du jumeau numérique dans cette région, devant **l'énergie et le bâtiment**.

La prévision de croissance d'ici à 2030 est de l'ordre de **38 à 40% par an** selon les études et le marché projeté à cette échéance à environ **48 Mdr\$**, derrière la zone Asie-Pacifique.

*Exemples de jumeau numérique en Amérique du Nord :*

**Dans l'automobile**, Tesla s'appuie sur la technologie du jumeau numérique pour améliorer l'expérience client. Chaque voiture a son double numérique, les données captées sont remontées au jumeau numérique et grâce à l'IA, la firme peut déterminer si la voiture nécessite un entretien et si son fonctionnement est conforme. Elle peut également mettre à jour le logiciel interne du véhicule.

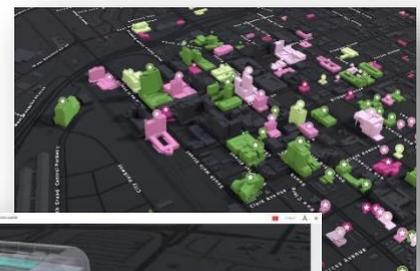


**Dans l'aérospatial** chez SpaceX, les opérateurs de contrôle de mission utilisent un jumeau numérique du module Dragon, connecté à des capteurs sur le vaisseau spatial pour surveiller sa trajectoire, ses charges, ses systèmes de propulsions... Le jumeau numérique va suivre l'ensemble du cycle de vie du module.

**En matière d'environnement**, la start-up canadienne The Metals Company développe un système de collecte écoresponsable de nodules polymétalliques en haute mer. Afin de tester cette initiative, la start-up, aidée de la société norvégienne Kongsberg Digital, crée un jumeau numérique pour permettre la visualisation 3D des opérations en haute mer, sur des fonds atteignant jusqu'à 4 km de profondeur.



**Concernant les territoires**, plusieurs villes des Etats-Unis développent leur jumeau numérique avec des cas d'usages pouvant concerner la mesure et la réduction des impacts environnementaux (ex : CO2, qualité de l'air, pollution sonore), la mobilité ou la gestion des infrastructures (ex : réseaux d'eau). Ainsi, la ville de Chattanooga dans l'état du Tennessee utilise un jumeau numérique de la ville pour améliorer le flux routier et optimiser les déplacements et travaux d'infrastructures.



**Dans la défense**, le laboratoire de recherche de l'US Air Force a développé un jumeau numérique d'un prototype de système d'armes « en essaim » collaboratif appelé « Grey Wolf », dans le cadre du programme WeaponONE.

L'US Air Force s'est également associé au National Institute for Aviation Research (NIAR) pour créer un jumeau numérique des F16. L'objectif est de collecter les données nécessaires pour maintenir la flotte opérationnelle, avec, pour exemple de cas d'usages, des mises en services virtuelles.



## → EUROPE

Dans le développement du jumeau numérique, l'Europe suit de près la région nord-américaine (environ **32%** du marché mondial soit **2,4 Mrd\$**, derrière l'Amérique du Nord estimée à 36% - *Etude GVR*).

La prévision de **croissance forte** positionne le marché européen à **49Mrd\$ en 2030**, poids similaire à celui du marché nord-américain à cette échéance. Plusieurs facteurs sont en faveur de **ce développement rapide du jumeau numérique** en Europe :

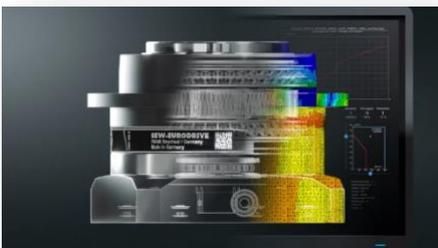
- **les investissements importants dans la recherche, le développement et l'innovation** pour assurer la souveraineté et la compétitivité de l'industrie et du numérique européen (cf tableau ci-dessous) ;
- **la prise en compte croissante des enjeux environnementaux** dans les politiques publiques, les dispositions réglementaires et les projets des acteurs socio-économiques (construction, mobilité, énergie...) ;
- **la croissance prometteuse de la e-santé et des technologies médicales** ;
- **la présence d'acteurs majeurs du jumeau numérique, en France et en Allemagne** notamment : Siemens, Dassault Systèmes, Schneider Electric, Software AG, NarVis, ANDRITZ...

*Exemples de jumeau numérique en Europe :*

**Dans l'aéronautique**, Eurocontrol (ECTL), organisation paneuropéenne dédiée au soutien de l'aviation, collabore avec Airbus UTM sur la simulation des systèmes d'aéronefs sans pilote. Le jumeau numérique développé par Airbus permet de quantifier la sécurité de divers scénarios de trafic et ainsi d'analyser les impacts sur l'espace aérien, principalement en milieu urbain. Il amènera également sa contribution dans la conception aérodynamique pour l'industrie du décollage et atterrissage verticaux électriques (type eVtol).



*Cd Getty Image eVTOL*



*Réducteur servo planétaire SEW USOCOME*

**Dans le domaine des automatismes**, le groupe allemand SEW-Eurodriv, et sa filiale française SEW Usocome utilisent la technologie du jumeau numérique sur deux échelles pour optimiser les processus industriels. Ils mettent à disposition de leurs clients le double numérique des produits et développent le jumeau numérique de leurs usines. Le double numérique d'un réducteur permet, par exemple, de calculer précisément sa durabilité et de suivre l'ensemble de son cycle de vie.

**Concernant les villes,** Helsinki, capitale de la Finlande et pionnière du jumeau numérique urbain en Europe, est désormais rejointe par de nombreuses villes. Elle utilise son jumeau numérique pour créer des simulations de phénomènes physiques : simulation de la dynamique des flux du vent, simulation de l'apport solaire, simulation des ombres portées au sol dans le cadre de l'aménagement d'un quartier...

L'université RWTH et la ville d'Aachen (Allemagne) développent un jumeau numérique pour préparer la ville à l'arrivée de véhicules autonomes, en construisant une infrastructure connectée qui appréhende le trafic des différents usagers de la route. Le projet est financé par le ministère fédéral allemand des transports et de l'infrastructure numérique et des acteurs privés comme Ford Mobility ou Vodafone.



Simulations de flux de vent-Helsinki Kalasatama digital twins



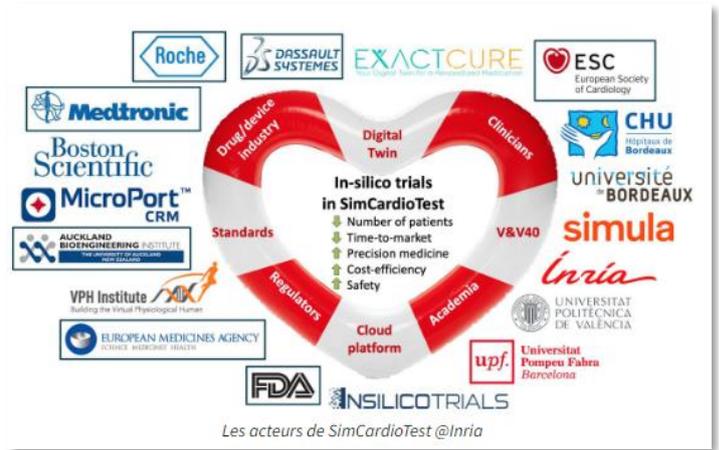
A l'échelle européenne, le projet **LEAD** opéré dans le cadre du programme de financement européen Horizon 2020, engage un consortium de plus de 25 partenaires publics et privés. En réponse aux tensions créées sur les villes par le développement des livraisons à domicile, le projet a pour objectif de rendre la logistique « du dernier kilomètre » plus efficace et de limiter son impact environnemental. Il vise la création du jumeau numérique des réseaux de logistique urbaine de six villes (Madrid, La Haye, Lyon, Budapest, Oslo, Porto). L'institut de recherche technologique (IRT, cf. page 23) SystemX basé en France, partenaire de ce projet, explique que ce projet « favorisera le développement de plusieurs solutions pour des opérations logistiques partagées, connectées et à faibles émissions, renforcées par une approche de modélisation adaptative et des modèles de jumeau numérique [...] L'ambition à long terme du projet LEAD est de concevoir un cadre inspiré de l'Internet Physique Ouvert pour la Logistique Urbaine Intelligente, en intégrant les jumeaux numériques créés et d'établir les bases du développement du jumeau numérique urbain à grande échelle » (communiqué de presse IRT System du 3 juillet 2020).

**En matière de territoires et d'environnement,** le projet européen le plus frappant est certainement la création d'une série de jumeau numérique qui modélisera à terme de la Terre entière, **le projet DestinE**.

« Le projet DestinE contribuera à la stratégie numérique de l'Europe et au Green Deal, combinant des modèles comportementaux environnementaux, sociaux et économiques, et constitue un élément clé de la stratégie européenne pour les données. Il vise également à renforcer les capacités industrielles et technologiques de l'Europe dans les domaines de la simulation, de la modélisation, de l'analyse prédictive des données et de l'intelligence artificielle (IA), ainsi que du calcul haute performance HPC. Le système sera en mesure d'effectuer des simulations dynamiques de haute précision des systèmes naturels de la Terre (en se concentrant sur des domaines thématiques, par exemple la mer, la terre ferme, les côtes, l'atmosphère) [...] Dans un premier temps, DestinE sera au service des pouvoirs publics mais s'ouvrira progressivement aux utilisateurs scientifiques et industriels, afin de stimuler l'innovation et permettre le benchmarking de modèles et de données». André Rousselot, ECINews 2021.

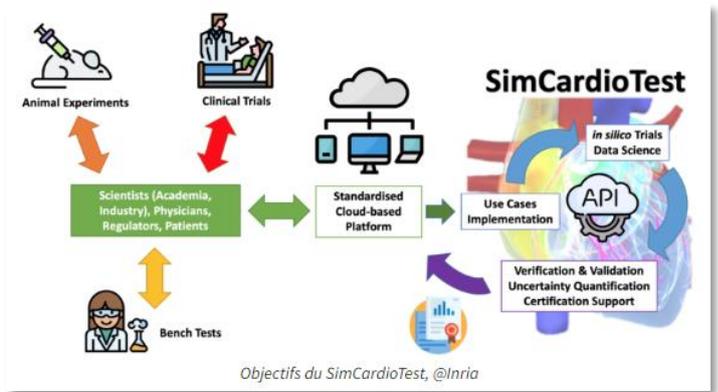


Dans le champ de la santé, citons le projet européen **SimCardioTest** coordonné par l'INRIA et portant sur la conception d'outils prédictifs dans les pathologies cardiaques et l'accélération de l'adoption de simulations informatiques pour tester des médicaments et des dispositifs médicaux. Le consortium associe 10 organisations de 6 pays (Belgique, France, Italie, Norvège et Etats-Unis), parmi lesquelles des grandes entreprises, PME, organismes de recherche, universités et organisation à but non lucratif. Ces partenaires sont soutenus par un conseil consultatif intégrant l'Agence européenne des médicaments et la Food and Drug Administration (Etats Unis).



Bénéficiaire d'un financement du programme Horizon 2020, le projet poursuit des objectifs à la fois de nature scientifique, technique et réglementaire :

- Fournir un cadre et une large approche des méthodes in-silico (modélisation et simulation par ordinateur) où des éléments génériques et standardisés peuvent être utilisés pour d'autres applications ;
- Démontrer qu'une telle approche peut aider à développer des dispositifs et médicaments, et à réduire les coûts et délais de mise sur le marché ;
- Gagner la confiance des scientifiques, entreprises organismes de réglementation, médecins et patients.



Les programmes de financements de l'Union Européenne soutiennent plusieurs projets de jumeau numérique (liste non exhaustive) :

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Horizon Europe (2021-2027)</b> : le programme vise à renforcer la base scientifique et technologique de l'UE et l'Espace européen de la recherche (EER), à stimuler la capacité d'innovation, la compétitivité et l'emploi en Europe, et à répondre aux priorités des citoyens, en soutenant notre modèle et nos valeurs socio-économiques.<br/>                 ↳ Budget d'environ 95,5 milliards €</p> <p>Il a succédé au programme <b>Horizon 2020 (2014-2020)</b>.<br/>                 ↳ Budget d'environ 79 milliards €</p> | <p>Change2Twin : soutien aux PME manufacturières dans leurs efforts de digitalisation et l'accès aux technologies nécessaires au déploiement du jumeau numérique</p> <p><b>LEAD : projet relatif à la logistique urbaine</b></p> <p><b>SimCardioTest : projet sur la prédiction des pathologies cardiaques et les tests de médicaments et dispositifs médicaux</b></p> <p><b>Projet de jumeau numérique du système ferroviaire, financé en partie par le programme Shift2Rail</b></p> |
| <p><b>Programme pour une Europe numérique (DIGITAL) (2021-2027)</b> : ce programme est axé sur l'apport des technologies numériques aux entreprises, aux citoyens et aux administrations publiques.<br/>                 ↳ Budget d'environ 7,5 milliards €</p>   | <p><b>DestinE : projet de jumeau numérique de la Terre</b></p>  |

## ↳ ASIE-PACIFIQUE

**Le marché du jumeau numérique dans la zone Asie-Pacifique devrait croître rapidement (plus de 40% par an) pour rattraper son léger retard par rapport à l'Amérique du Nord et l'Europe, et atteindre 51 Mrds\$ en 2030 (étude GVR).**

Tiré par la **Chine à la prévision de croissance encore plus élevée (+ 51% par an entre 2022 et 2030, selon l'étude Research and markets)**, ce développement bénéficiera notamment de l'implantation d'un grand nombre d'industries (automobile, fabrication d'équipement, énergie...) et de la capacité d'investissement d'acteurs désireux d'adopter rapidement cette nouvelle technologie.

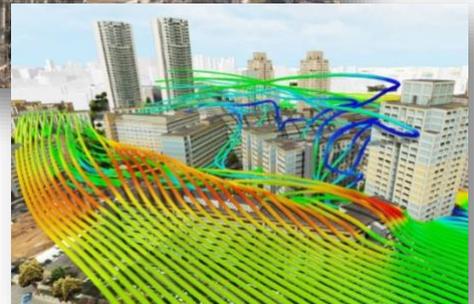
*Exemples de jumeau numérique dans la zone Asie-Pacifique :*

**Dans l'industrie, Singapour**, pionnière sur le jumeau numérique urbain en 2015, voit se développer des initiatives industrielles, telles que le projet de jumeau numérique du site pétrochimique de Pulau Bukom de Royal Dutch Shell, son plus grand centre de production et d'exportation dans la région Asie-Pacifique. Le jumeau, qui intégrera les données provenant de plus de 20 plateformes technologiques différentes, vise à améliorer l'efficacité opérationnelle, réduire les temps d'arrêt, réduire les coûts de maintenance et permettre une collaboration efficace en temps réel entre les experts et les opérateurs.



Singapour Raffinerie  
Shell Pulau Bukom

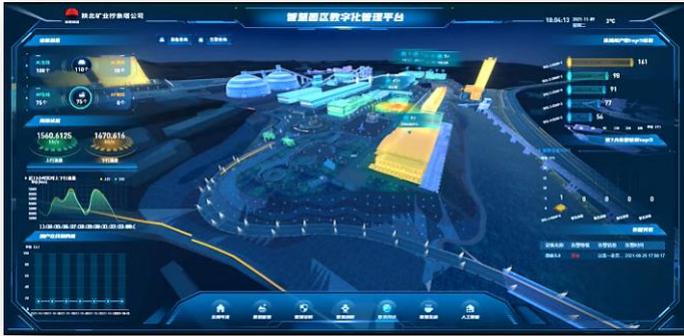
Côté logistique, Singapore Maritime Institute (SMI) accorde également un financement supplémentaire de 10 millions de dollars singapouriens sur cinq ans au Centre d'excellence en modélisation et simulation pour les nouvelles générations de Ports (C4NGP), qui fait partie du Collège de conception et d'ingénierie de l'Université nationale de Singapour (NUS), pour traduire les avancées du centre technologies de jumelage numérique pour adoption par le port local et l'industrie maritime.



Ainsi, le C4NGP vise à créer et à partager de nouvelles connaissances avec des partenaires industriels locaux et internationaux via ses progiciels jumeau numérique. Parmi les autres projets de R&D à développer figurent le jumeau numérique de Tuas Port, des systèmes avancés de planification des opérations portuaires, l'analyse des performances des futurs systèmes d'automatisation et un jumeau numérique pour les services de transport à Singapour.

**Dans la logistique et l'énergie**, des projets de jumeau numérique voient le jour **en Chine** :

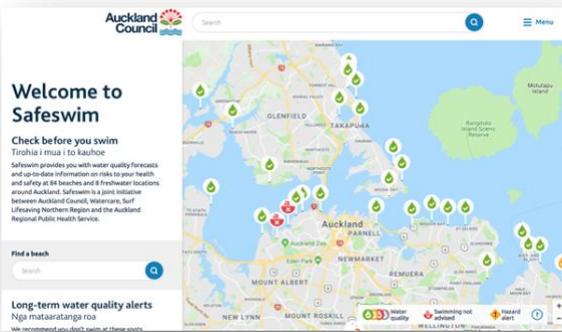
Concernant le jumeau numérique dans la logistique, des projets d'envergure se développent en Chine (Ville de Shenzhen Port intelligent Ma Wan, Ville de Shenmu Mine de Charbon Ningtiaota Mining Company, Ville de Shaanxi, Smart Park...), pour l'analyse des flux (véhicules, personnes...), l'exploitation, la gestion de la sécurité, la gestion des événements, la gestion de l'espace, la simulation et prédiction des émissions de carbone...



Chine Shenmu Groupe de la mine de charbon Ningtiaota Mining Company



Chine Smart Park du Shaanxi

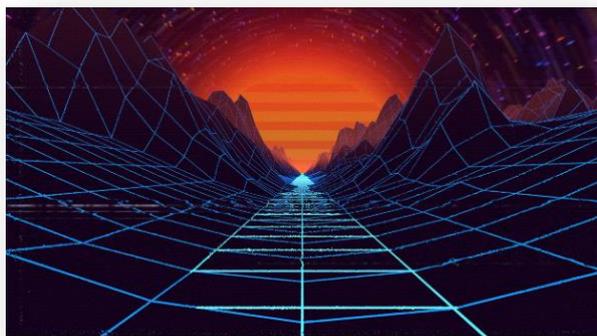


Nouvelle-Zélande Auckland Safeswim

En Nouvelle-Zélande, **Safeswim** est un jumeau numérique des réseaux d'eaux usées et d'eaux pluviales aux côtés d'un certain nombre de systèmes physiques dans l'environnement naturel, pour prédire la qualité de l'eau pour la communauté d'Auckland en temps réel et dans le futur. Il rassemble les données et analyses de plus de 10 organisations différentes et est accessible aux habitants d'Auckland.

En Australie, le projet de **jumeau numérique de l'Etat de la Nouvelles Galles du Sud** a donné lieu à une carte en ligne de l'ouest de Sydney (22 millions d'arbres avec des attributs de hauteur et de canopée, plus de 540 000 bâtiments, près de 20 000 kilomètres de routes 3D et 7 000 plans de strates 3D). L'objectif est d'aider les constructeurs d'infrastructures à planifier leurs projets de manière fiable et de faciliter l'activité économique régionale.





Australie - Jumeau numérique spatial

## Dans

*Australie – Jumeau numérique de l'Etat de la Nouvelle Galles du Sud*

**la défense**, l'armée Australienne communique sur la création d'un jumeau numérique spatial : [...] une condition préalable essentielle pour de nombreuses technologies et capacités avancées que l'ADF [Australian Defence Force] aspire à maîtriser à l'ère de la guerre accélérée. L'établissement de cette capacité devrait être au centre des programmes de développement des capacités géospatiales et de renseignement, de surveillance et de reconnaissance de la Défense. David Cave, Australian Defence Force

## ↳ AMERIQUE DU SUD, AFRIQUE ET MOYEN ORIENT :

En Amérique du Sud et dans la zone Afrique-Moyen Orient, le développement du jumeau numérique apparaît **beaucoup plus limité** (de l'ordre de **0,3 Mrd\$** sur chacune de ces zones), de même que les prévisions de croissance d'ici à 2030 (respectivement, **moins de 2 ou 5 Mrds\$**, selon l'étude GVR).

Le développement sera poussé par des concepteurs et investisseurs étrangers, ainsi que des start-ups régionales qui voient le jour sur ce marché.

*Exemples de jumeau numérique en Amérique du Sud et en Afrique :*

**Dans l'industrie, au Brésil**, Unilever a mis en œuvre des technologies telles que le jumelage numérique et l'IA pour améliorer la rentabilité et l'agilité, et réduire l'empreinte environnementale de son usine de détergents en poudre à Indaiatuba. L'équipe a également mis en place un écosystème technologique qui mobilise plus de 35 partenaires - dont des start-ups, des universités et des fournisseurs - pour le prototypage rapide de nouvelles solutions. Le projet a été accompagné par un important programme de formation numérique.



Brésil - Usine Unilever



Nigéria - FPSO BONGA

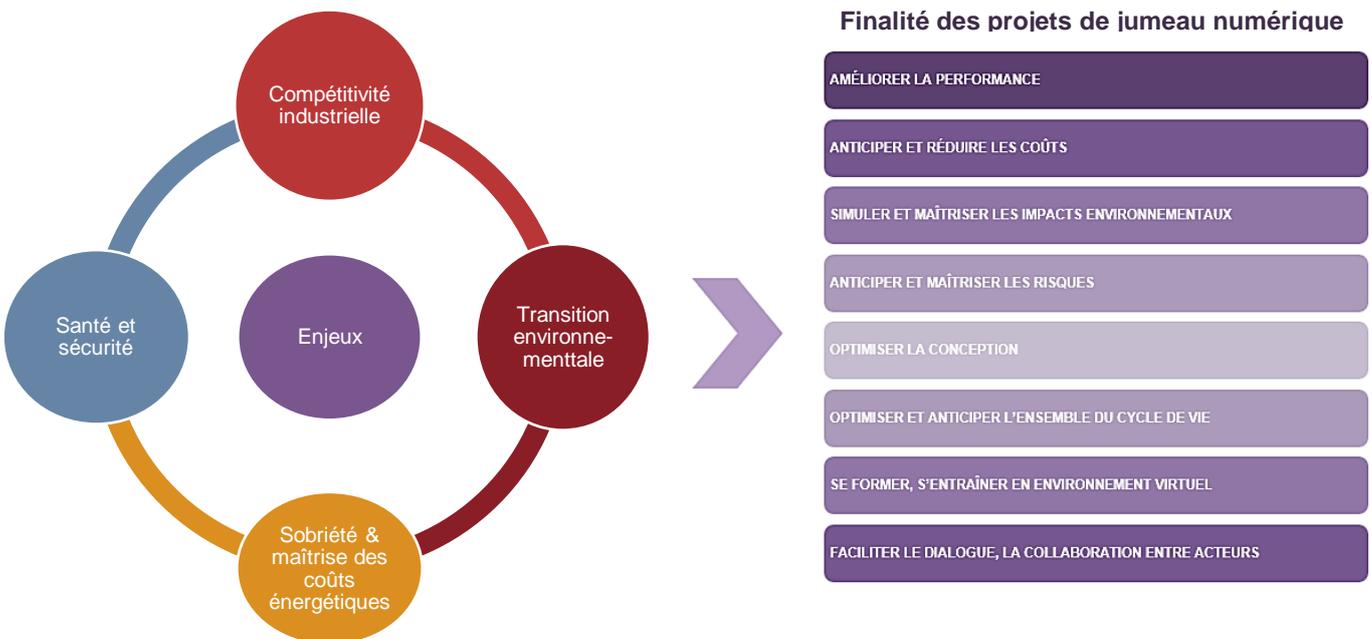
**Dans l'énergie, au Nigéria**, Shell et ses partenaires se sont dotés d'un jumeau numérique de l'installation, afin de mieux contrôler le fonctionnement du FPSO (unité flottante de production, de stockage et de déchargement de barils de pétroleur) du champ Bonga. Cette technologie peut prolonger la durée de vie du FPSO et assurer une meilleure sécurité sur place.

# 4. LE DEVELOPPEMENT & LA CHAINE DE VALEUR DU JUMEAU NUMERIQUE EN FRANCE

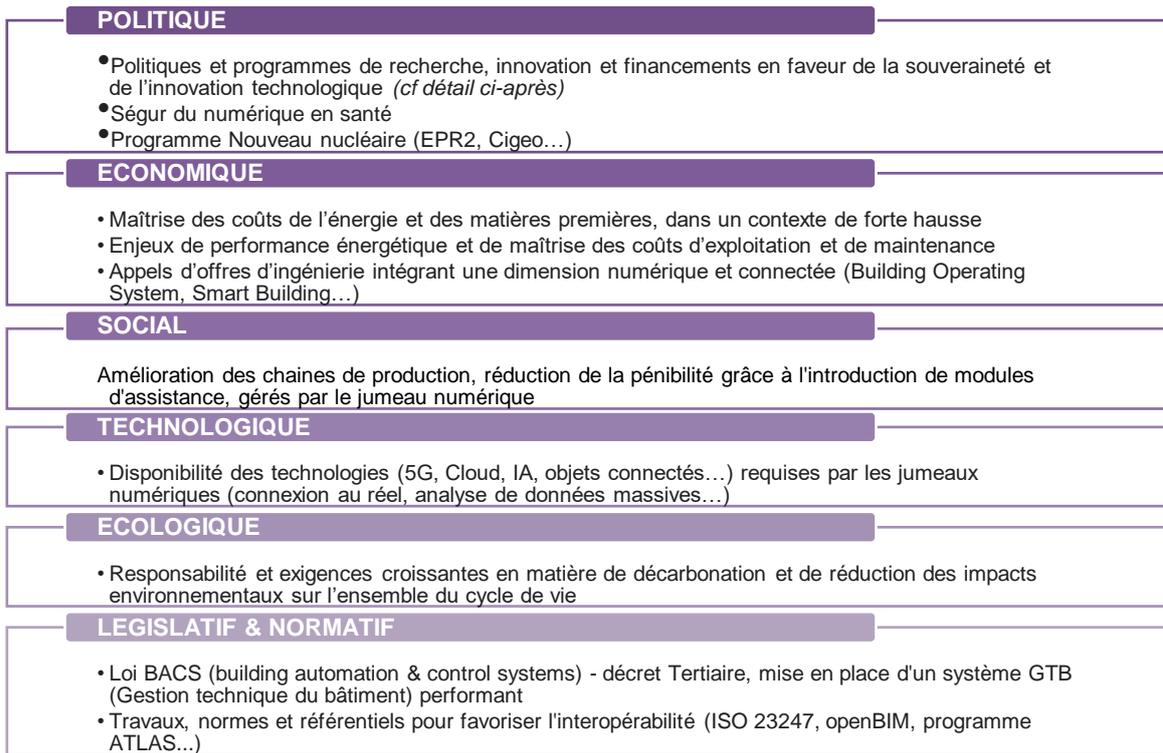
## 4.1. Un développement porté par les enjeux de compétitivité industrielle, de transition énergétique et environnementale, de santé et de sécurité

En France, le jumeau numérique est considéré comme **une technologie relativement récente**, qui s'inscrit dans la **continuité de précédentes innovations technologiques** (maquette numérique...) et **disciplines existantes** (ingénierie des systèmes, simulation...).

La **finalité des projets de jumeau numérique** développés ou en cours en France correspond à **de grands enjeux actuels** auxquels les **usages** du jumeau numérique peuvent contribuer :



Le développement du jumeau numérique est porté par **un ensemble de facteurs favorables**, au plan technologique mais aussi politique, économique et écologique :



## LE SOUTIEN DE PLANS D'INVESTISSEMENT, RECHERCHE ET INNOVATION

Concernant les **plans d'investissement, recherche et innovation**, de nombreux projets de jumeau numérique ont bénéficié d'un **soutien financier** (liste non exhaustive) :

| Plans d'investissement, recherche et innovation  | Projets de jumeau numérique soutenus   |
|--|--|
| <p><b>Plan d'investissement France 2030</b> (2021-2026) : ce programme vise à transformer durablement des secteurs clefs de l'économie (énergie, automobile, aéronautique ou encore espace) par l'innovation technologique, et à « positionner la France non pas seulement en acteur, mais bien en leader du monde de demain ».</p> <p>↳ Budget d'environ 54 milliards €</p>  | <p>AMI « Démonstrateurs de la Ville Durable » : <b>Ville de Mulhouse Projet DMC</b></p> <p>AMI « Santé numérique » : <b>PROJET ONCOTWIN (Votre jumeau numérique pour une médication personnalisée)</b></p> <p><b>PROJET TWINONCO (Jumeau virtuel de patients atteints de cancer)</b></p> <p>AMI « Réacteurs Nucléaires Innovants » : <b>Projet XAMR (extra-small advanced modular reactor)</b></p> <p>Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) Santé numérique : <b>Acquisition de données multi-échelle et création d'un jumeau numérique pour chaque patient</b></p> <p><b>IGN – Vers un jumeau numérique du territoire</b> (demande en cours)</p> |
| <p><b>Programme d'Investissements d'Avenir 4</b> (2020-2025) : ce 4<sup>ème</sup> PIA finance des investissements innovants et prometteurs, afin de permettre à la France d'augmenter son potentiel de croissance et d'emplois.</p> <p>↳ Budget d'environ 20 milliards €</p>   | <p><b>Projet JENII</b> (Jumeau d'Enseignement Numériques Immersifs et Interactifs)</p> <p><b>Projet de réacteur nucléaire piloté par EDF Decarbonized City, le jumeau virtuel de Paris-Saclay</b> (PIA3)</p>   |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Plan France Relance 2020</b> : plan visant à redresser l'économie française suite la crise et créer de nouveaux emplois, déployé autour de trois volets : transition écologique, compétitivité et cohésion.<br/>                 ↳ <b>Dont budget d'1 milliard €</b> d'aides directes à des projets industriels ambitieux</p>  | <p><u><b>Projet Ci2ANum : pour la création du jumeau numérique des centres de l'Aube</b></u></p> <p><u><b>Jumeau numérique de l'estuaire de la Gironde</b></u></p> |
| <p><b>Programme JUNON</b> : un des 6 programmes Ambition Recherche et Développement financé par la Région Centre-Val de Loire, avec pour ambition de créer un pôle de développement de jumeaux numériques appliqués à l'environnement.<br/>                 ↳ <b>Budget de 12,3 millions €</b>, dont 6 millions apportés par la Région, auxquels s'ajoutent des financements CPER.</p> | <p><u><b>Projet JUMEAU</b></u> centré sur le jumeau numérique EAU (qualité et quantité)</p>  |

## PLUSIEURS TRAVAUX EN FAVEUR DE LA NORMALISATION ET DE L'INTEROPERABILITE DES DONNEES

Pour accompagner le cycle de vie d'un produit, le jumeau numérique doit pouvoir s'enrichir progressivement de nouveaux cas d'usage, intégrer les objets et données associées et communiquer avec d'autres applications. Dès lors, **la normalisation et l'interopérabilité des données représentent un enjeu important** pour le développement du jumeau numérique, auquel travaillent différents **programmes de recherche et travaux de normalisation** :

- ▶ **L'Institut de recherche technologique (IRT) SystemX**, fondation de coopération scientifique à but non lucratif, rassemble 100 partenaires économiques et 25 partenaires académiques, autour de **projets de recherche appliquée orientée « cas d'usage »** pour accélérer la transformation numérique de l'industrie, des services et des territoires. Ces projets portent sur 8 domaines scientifiques et techniques – dont le jumeau numérique - et visent 4 secteurs applicatifs prioritaires : industrie du futur ; transport autonome et mobilité ; défense et sécurité ; environnement et développement durable.

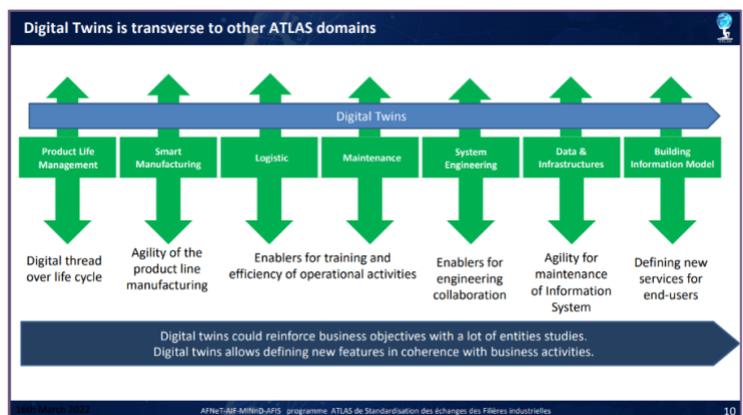
Le programme **Jumeaux numériques pour la résilience et la durabilité des systèmes industriels** porte deux ambitions : *'Concevoir un environnement méthodologique outillé pour le développement du jumeau numérique de systèmes industriels complexes et faire émerger un standard européen pour faciliter l'interfaçage des données et l'interopérabilité entre systèmes'*.

- ▶ **Le programme ATLAS de standardisation des échanges des filières industrielles** initié en 2020 par 4 organisations fondatrices de la pré-normalisation en France (AFNeT, MINnD AFIS et AIF, en collaboration avec l'AFNOR).

↳ **Budget de 10,5 M€** sur 3 ans, financé à 50% par les plans d'investissement de l'Etat français et à 50% par les filières industrielles.

Parmi les **huit domaines prioritaires de standardisation**, figure le jumeau

**Projets liés au jumeau numérique :**  
**Jumeau numérique des systèmes industriels complexes**  
 Jumeau numérique pour l'optimisation des ressources productives et de la supply chain  
 Jumeau numérique pour l'optimisation de la consommation énergétique et l'impact carbone  
 Jumeau numérique pour l'audit et l'optimisation de la résilience d'un système critique



**numérique pour 7 filières<sup>1</sup>**, en articulation avec d'autres domaines (PLM, smart manufacturing, logistique, etc.). L'objectif du programme est de **favoriser l'interopérabilité et la continuité numérique**, tout en **mutualisant des moyens en faveur de projets numériques**.

- ▶ Les **Commissions AFNOR** alimentent et suivent les travaux internationaux de l'ISO, ayant pour objectif de favoriser l'interopérabilité. Dans le domaine des **systèmes d'automatisation industrielle**, par exemple, la série ISO 23247 propose déjà un **cadre technique relatif du jumeau numérique en fabrication**, au travers de 4 volets :
  - ISO 23247-1 : *vue d'ensemble et principes généraux*
  - ISO 23247-2 : *architecture de référence*
  - ISO 23247-3 : *représentation numérique des éléments intervenant en fabrication (identification des éléments, exemples d'attributs d'information statiques et dynamiques, normes et spécifications existantes)*
  - ISO 23247-4 : *échange d'informations (identification de technologies permettant la synchronisation, l'échange et la gestion des informations relatives au jumeau numérique de fabrication : protocoles de réseau, interfaces de programmation, langages de description...).*

## LE POTENTIEL IMPORTANT DE DEVELOPPEMENT DU JUMEAU NUMERIQUE RESTE CONDITIONNE A PLUSIEURS DEFIS

- ▶ **Penser avant tout aux cas d'usage et aux données à associer, plutôt qu'à la seule représentation 3D.**

Raisonner **process** et pas uniquement *produit*, et prendre d'emblée en compte la **dimension collaborative** du jumeau numérique.

Dans la construction, ces conditions de réussite s'appuient notamment sur le **retour d'expérience du BIM**, dont le développement a été freiné par le **coût** (licences logicielles, ordinateurs puissants...), le manque de visibilité sur le **retour sur investissement**, les problématiques d'**interopérabilité** (solutions logicielles de format natif plus performant que le format ouvert OpenBIM-ICFC...) et une certaine **résistance au changement** d'acteurs qui doivent désormais collaborer plus étroitement autour de la qualité constructive et de la régulation énergétique. Dans l'urbanisme, l'utilisation quotidienne des **bases de données et du système d'information géographique (SIG)** favorise, quant à elle, l'émergence de jumeau numérique de territoire.

Du point de vue de nombreux experts et professionnels, le **coût de conception et d'administration d'un jumeau numérique doit être proportionné aux usages et aux bénéfices apportés** (ex : économies énergétiques). Certains estiment que, pour amortir ce coût, il faut favoriser la **multiplicité des usages et utilisateurs** d'un jumeau numérique. Ainsi, un jumeau numérique développé pour concevoir et produire un véhicule ou bâtiment pourrait être amorti en étendant son utilisation à l'exploitation, la maintenance, la formation, etc.

S'il n'existe plus de frein technologique au développement du jumeau numérique, il existe une **« difficulté à argumenter vis-à-vis des Directions l'enjeu d'investir dans le jumeau numérique ; cela reste un sujet technique, il y a un besoin d'acculturation »**. Dans la construction, il s'agit, par exemple, d'inciter les intervenants à s'intéresser aux objets numériques et à **« faire évoluer la culture de la donnée, de sa valeur et de ses usages potentiels par les maîtres d'ouvrage »**. Dans l'industrie, un cabinet d'ingénierie estime que **« tous nos clients industriels sont dans les starting-blocks pour se lancer dans la création de jumeau numérique de leurs process ou usines, ils en connaissent les enjeux et les multiples bénéfices, ils ont contextualisé le sujet, mais il reste une dernière marche à franchir, le lancement, qui met parfois plusieurs mois, voire années, à venir »**.

### UN MANIFESTE STRATÉGIQUE SUR « L'OPENBIM AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE DE LA CONSTRUCTION »



Suite à une première prise de position commune en avril 2021 pour le développement du numérique dans la construction, Syntec-Ingénierie et les autres organisations professionnelles représentatives du secteur - FNTP et EGF, avec le soutien du projet national MINnD et de buildingSMART France - publient un manifeste pour « le numérique au service d'une trajectoire décarbonée de la Construction ». Cette vision propose de s'appuyer sur la mise en œuvre de jumeaux numériques pour assurer le suivi de la trajectoire bas-carbone tout au long de la vie de l'ouvrage ou de

l'infrastructure. Autour de trois ambitions partagées, un chemin est proposé pour que la commande publique s'engage pleinement dans la mise en œuvre de la continuité numérique au service la transition écologique.

<sup>1</sup> Aéronautique, électronique, naval, ferroviaire, nucléaire, construction/BTP et « solution Industrie du futur ».

**Le nombre grandissant de retours d'expérience en France** participe à la compréhension des usages du jumeau numérique, de ses enjeux, de ses contraintes et des ressources à mettre en œuvre pour sa réalisation et son utilisation.

- ▶ **Intégrer l'écoconception et la sobriété numérique dans le développement et le déploiement du jumeau numérique.**

De manière générale, selon le rapport *Pour un numérique soutenable* de l'ADEME (2020), le numérique représenterait **3 à 4%** des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le monde (soit l'équivalent du transport aérien) et 2% de l'empreinte au niveau national. Toutefois, cette empreinte pourrait augmenter fortement compte-tenu de la croissance du numérique (**+ 60 % d'ici à 2040**, soit **6,7 % de l'empreinte GES** nationale selon l'ADEME), de la masse de données traitées (jumeau numérique, IA, IoT...) et de la fabrication et de l'utilisation du matériel associé (ordinateurs, serveurs, objets connectés...).

Aussi, plusieurs experts invitent à accompagner le développement du jumeau numérique de **démarches concrètes d'écoconception et de sobriété numérique**. Cette question est intégrée aux travaux de la commission nationale de normalisation AFNOR/CP IDMI (Ingénierie des Données et des Modèles pour l'Industrie), représentation (miroir) française des comités techniques internationaux ISO/TC 184 « Systems automation and integration ».

- ▶ **Répondre aux préoccupations sur la confidentialité et la sécurité des données liées à l'utilisation du jumeau numérique**

Le respect du **RGPD** en matière de données personnelles constitue un premier pan de sécurisation.

Le jumeau numérique impliqué dans la gestion de sites industriels, métropoles ou encore de transports peut être visé par des menaces d'intrusion, pouvant paralyser des systèmes sensibles. La **cybersécurité** constitue donc un enjeu crucial, que les acteurs doivent s'atteler à couvrir, par la formation aux pratiques de sécurisation de la donnée, le recours à des experts en cybercriminalité, etc.

---

## 4.2. La contribution des entreprises de la Branche au développement du jumeau numérique

Les entreprises de la **branche professionnelle des bureaux d'étude techniques** (IDCC 1486) – éditeurs de logiciels, ESN<sup>2</sup>, ICT<sup>3</sup> et entreprises d'ingénierie - contribuent à la **chaîne de valeur du jumeau numérique à plusieurs niveaux** :

---

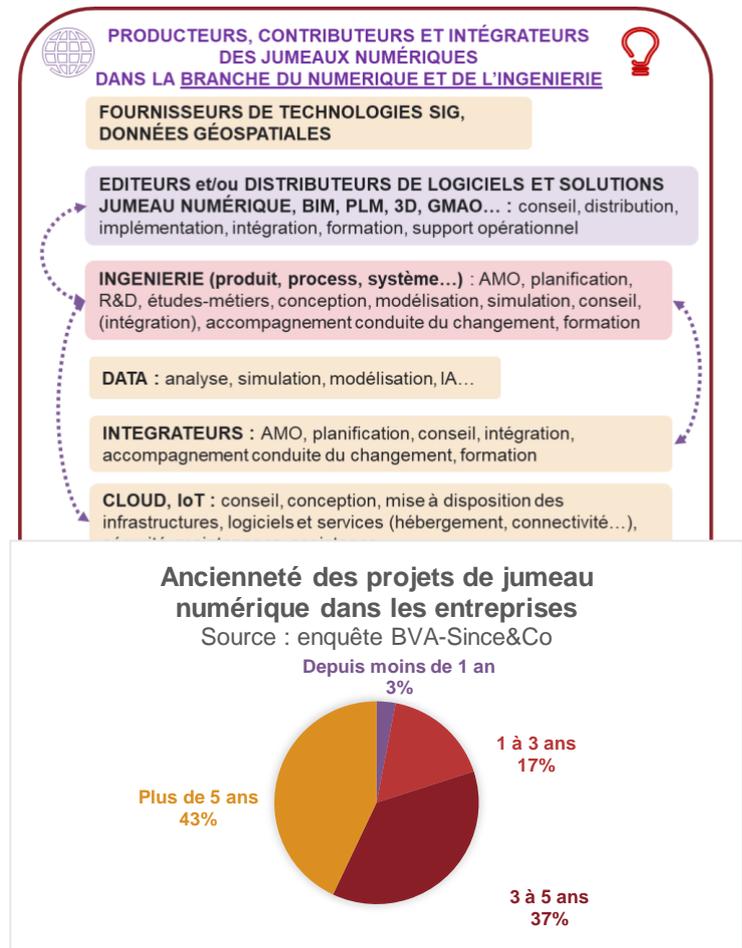
<sup>2</sup> Entreprise de services du numérique

<sup>3</sup> Société d'Ingénierie et de Conseil en Technologie

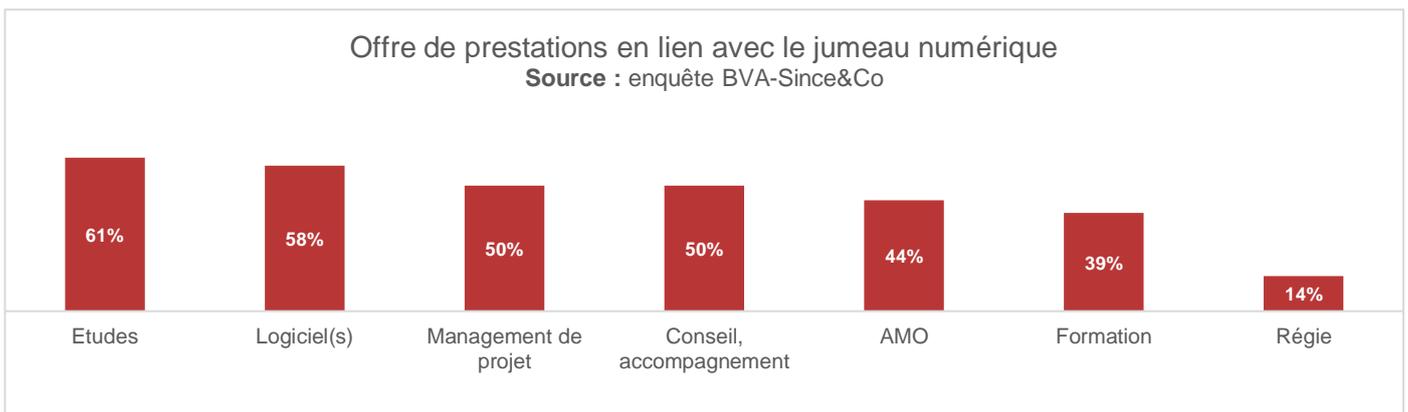
- ▶ En tant que **fournisseurs de technologies SIG**, données géospaciales ;
- ▶ En tant qu'**éditeur et/ou distributeur de logiciels et solutions liées au jumeau numérique** ;
- ▶ En tant qu'**entreprise d'ingénierie ou ICT<sup>3</sup> spécialisée dans le secteur ou domaine** (ex : ingénierie nucléaire, analyse environnementale, sécurité des systèmes) et apportant des **compétences en ingénierie et data** ;
- En tant qu'**entreprise de service du numérique ou ICT<sup>3</sup> accompagnant leurs clients en matière d'intégration** ou de **data** (modélisation, machine learning, etc...) ;
- En tant que fournisseurs de services **Cloud et/ou Internet des objets**.

En termes d'**antériorité** dans la Branche, **8 entreprises sur 10** positionnées dans cette chaîne de valeur estiment leur contribution à un projet de jumeau numérique à **3-5 ans (37%)** ou **plus de 5 ans (43%)**.

Antérieurement, leur activité mobilisait souvent plusieurs composantes du jumeau numérique (ex. : maquette numérique, simulation pour aider à la décision), mais certaines composantes, comme la connectivité au réel, n'étaient pas encore présentes. D'autres terminologies (ex : simulation interactive) pouvaient aussi être employées, avant que le concept de jumeau numérique ne s'impose.



## LA CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT DU JUMEAU NUMERIQUE SE POSITIONNE SUR DE NOMBREUX PLANS

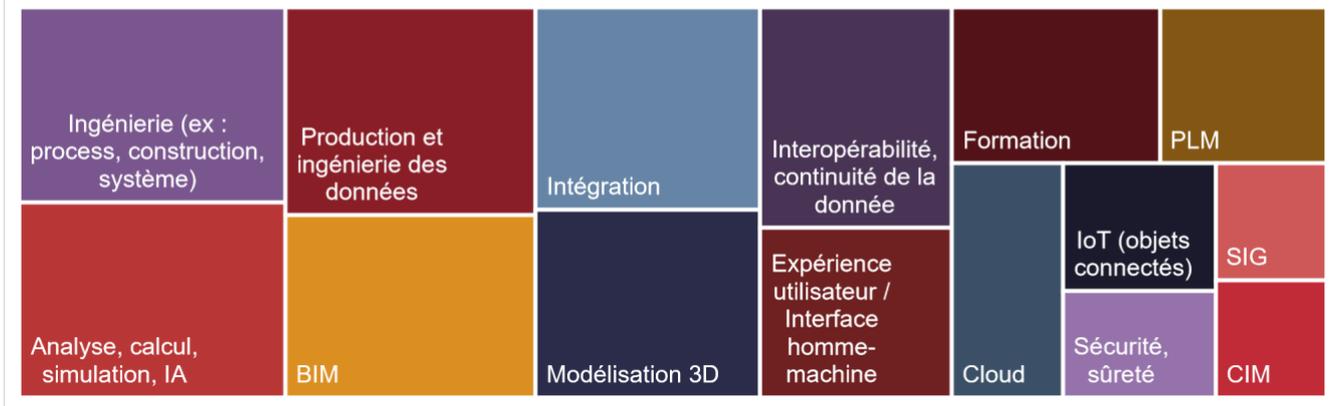


Les entreprises du numérique et de l'ingénierie contribuent aux projets de jumeau numérique par une offre de prestations constituée avant tout de **prestations d'études et d'édition/implémentation de logiciels**, associées à un ensemble de **prestations d'accompagnement des clients** : management de projet, conseil, AMO et formation.

Les prestations de régie apparaissent moins mobilisées dans les projets de jumeau numérique.

## Domaines de contribution à la chaîne de valeur du jumeau numérique

Source : enquête BVA-Since&Co



Elles couvrent **une quinzaine de domaines de contribution à la chaîne de valeur du jumeau numérique**, parmi lesquels les plus importants : **Ingénierie, Analyse/calcul/simulation/IA, Production et ingénierie des données, BIM, Intégration et Technologies 3D** (lecture décroissante de gauche à droite du graphique compartimenté).

Pour couvrir les domaines de compétences nécessaires à la création d'un jumeau numérique, les projets donnent lieu à **des collaborations fréquentes** entre entreprises de la Branche.

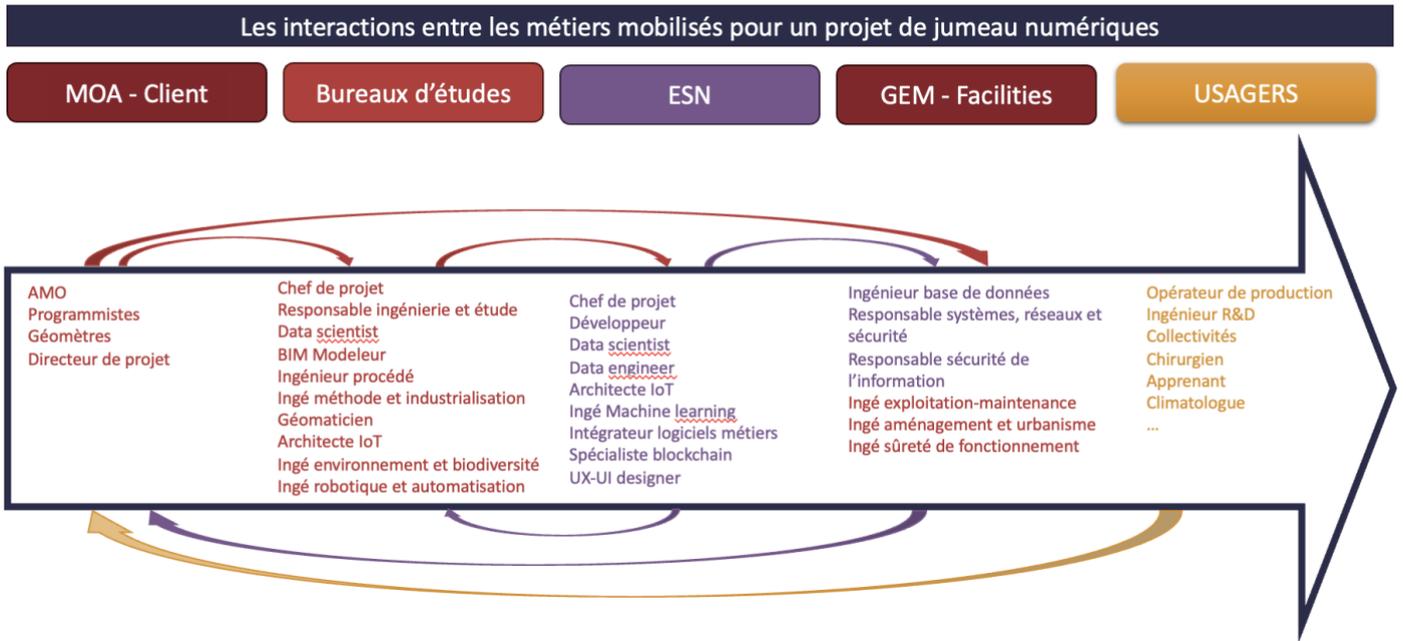
C'est le cas de **plus de la moitié (55%) des entreprises** du numérique ou de l'ingénierie positionnées dans cette chaîne de valeur qui ont recours à de **l'achat de prestations** (forfait, régie...), de la **co-traitance** ou des **partenariats** (ex : consortium) vis-à-vis :

- d'**éditeurs de logiciels** ;
- d'**entreprises d'ingénierie** du secteur concerné pour l'AMOA, la modélisation, le traitement des données...
- d'entreprises **spécialisées dans l'IA** : deep learning, machine learning...
- d'autres **prestataires complémentaires** à leur activité : Cloud, formation...

## LES USAGES DU JUMENTAUX NUMÉRIQUE REVELENT UNE NECESSAIRE CONTINUITÉ DANS LA CRÉATION ET L'EXPLOITATION DE LA DONNÉE COLLECTÉE OU GÉNÉRÉE PAR LE JUMENTAUX NUMÉRIQUE

La diversité des cas d'usages, présentée précédemment, démontre bien que **chaque jumeau numérique répond à des besoins spécifiques**, pour lesquels les contributeurs du jumeau numériques ont des niveaux de maturité différents. Ainsi, certains fournisseurs de données ne sont pas toujours informés de leur finalité précise, car elles peuvent être demandées pour un usage spécifique et reprises pour nourrir un jumeau numérique. Les données traitées n'obéissent pas de manière stricte à un process-type de conception et d'exploitation du jumeau numérique, mais plutôt à un **ensemble d'itérations associant les besoins au cas d'usage, à un moment donné**.

Un autre exemple montre que **des géomètres** qui réalisent des scans 3D d'ouvrages, sites naturels ou fonds marins **créent des maquettes numériques très informées**, grâce à des solutions technologiques performantes et coûteuses (nuage de points par drone, avions, Lidar...), mais n'ont pas nécessairement connaissance de leur usage final. Dès lors, ils se considèrent comme des acteurs d'une maquette plutôt que d'un jumeau numérique. Cette situation peut impacter le processus de conception : les maîtres d'ouvrage commanditaires ne formulent pas des demandes optimales au regard des attentes finales, des ajustements sont demandés et il faut parfois refaire la saisie de la maquette.



En tant qu'acteur de la chaîne de valeur, **les MOA doivent donc être accompagnés d'AMO**, pour formaliser des demandes précises et permettre aux experts de réaliser les maquettes dans les meilleures conditions, permettant une meilleure maîtrise des coûts liée à la production de maquettes et une meilleure connaissance de la donnée associée. Le jumeau numérique requiert un **mode projet itératif**, où les phases de travail, associe la conception de processus et de modèles numériques, à l'intégration de données et usages métiers :

**Le continuum d'information que suggère le jumeau numérique incite les acteurs à travailler de concert** pour améliorer en continu le process et nourrir l'avatar numérique, pour anticiper et analyser l'évolution du réel. Le mode projet collaboratif, la transdisciplinarité et les matériaux de données (données brutes, informations contextualisées, connaissances assimilées) sont des éléments indispensables au développement du jumeau numérique et constituent le terreau commun à l'ensemble des métiers.

**Au travers la chaîne de valeur du jumeau numérique, un ensemble de métiers assurent le processus de travail itératif, intégrant dès la commande client, les besoins des usagers.** La **maîtrise d'ouvrage** définit le périmètre du jumeau numérique selon une démarche ascendante (intégration des besoins des usagers le plus en amont possible), elle garantit également la gestion, l'exploitation et la maintenance du jumeau numérique (soit directement, soit en sous traitance). Au cœur de la chaîne de valeur, la **maîtrise d'œuvre** assure la réalisation du jumeau numérique, par la conception des éléments numériques (bases de données, modèles numériques, objets connectés, infrastructures réseaux...), qui par compilation amène vers un système numérique complexe, évolutif et intelligent. La chaîne de valeur du jumeau numérique repose sur **l'implication de chacun des acteurs**, dans la définition du jumeau numérique, de son périmètre d'usage et de ses modalités techniques.

Deux projets soutenus dans le cadre de France Relance illustrent cette **dynamique de collaboration entre acteurs de la Branche**, ainsi que, pour l'un d'entre eux (le *Jumeau numérique du fleuve*), l'implication forte de **partenaires institutionnels** :



## LE CONTINUUM D'INFORMATION DU JUMEAU NUMERIQUE INTERROGE LA NOTION D'INTEROPERABILITE ENTRE LES DIFFERENTS FORMATS DES LOGICIELS :

Les retours d'expérience dans le bâtiment et l'industrie montrent que le **manque d'interopérabilité** constitue un frein majeur au déploiement des systèmes numériques complexes comme le jumeau numérique. Pour cela, les efforts consentis par les éditeurs logiciels pour intégrer **des standards d'échanges normés** (norme STEP ou ISO 19650) doivent faciliter les flux liés aux échanges de données. Cependant, les acteurs de la chaîne de valeur doivent également systématiser **des échanges en format ouvert**, orientés sur la donnée interopérable, afin d'en préserver l'intégrité et préserver la qualité du modèle numérique construit collectivement.

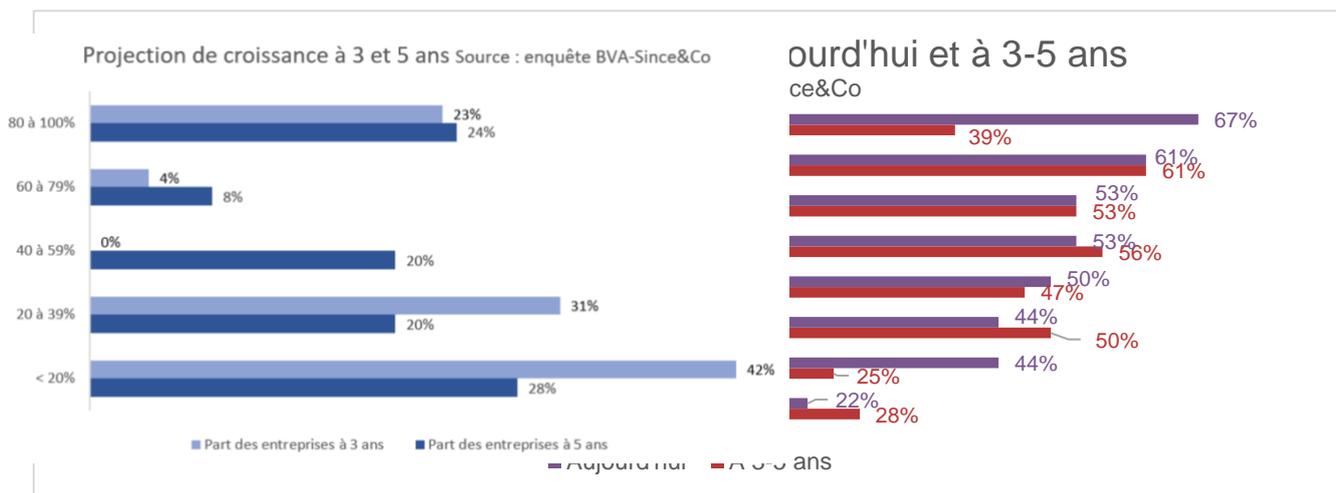
Enfin, concernant les données, certains experts soulèvent la question de leur **gouvernance**, en particulier dans le champ de l'urbanisme où le jumeau numérique (villes, quartiers...) est susceptible d'embarquer un grand nombre de données publiques, tout en étant utilisés à la fois par des acteurs publics et privés.

### 4.3. Une forte croissance anticipée par les entreprises de la Branche

Les entreprises interrogées projettent, pour la majorité, **une croissance forte de leur activité** en lien avec le jumeau numérique. Par rapport à leur chiffre d'affaires 2022, elles anticipent une croissance de l'ordre de :



Cette croissance prévisionnelle est très variable d'une entreprise à l'autre : pour **plus de 7 entreprises sur 10**, la croissance de l'activité liée au jumeau numérique devrait être de **40% ou moins dans 3 ans**, alors **qu'1 sur 4 estime qu'elle doublera son activité d'ici 3 ans**. **A 5 ans**, les entreprises estiment que leur croissance se rapprochera plus de **40-50% en moyenne**.



*Note de lecture : 42% des entreprises estiment que les activités liées à la chaîne de valeur du jumeau numérique auront une croissance de moins de 20% d'ici à 3 ans, alors qu'elles ne sont plus que 28% à l'estimer à horizon 5 ans.*

En termes d'usages, les usages **les plus porteurs de développement à 3-5 ans** sont proches de ceux des projets actuels :

- Améliorer la **performance**,
- Anticiper/réduire les **coûts**,
- Optimiser/anticiper l'ensemble du **cycle de vie**.

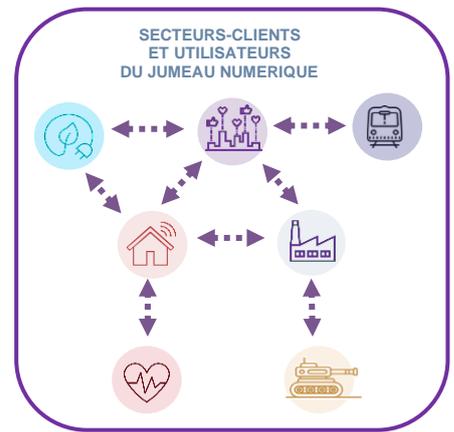
Corrélativement à ce dernier, le potentiel lié à l'**optimisation**, en amont de la **conception** apparaît nettement moins marqué à 3-5 ans qu'aujourd'hui. L'écoconception apparaît déjà comme une activité majeure inhérente aux usages directs (maîtrise et réduction des coûts) ou indirects (anticipation et simulation des impacts) liés au jumeau numérique. Viennent ensuite rapidement la simulation/maîtrise des **impacts environnementaux** estimée en hausse à 3-5 ans, ainsi que l'anticipation et la **maîtrise des risques**.

De plus, la **facilitation du dialogue entre acteurs** est à 45% de réponses, ce qui est loin d'être négligeable. Mais, comme l'optimisation de la production, c'est un usage bien plus en vogue aujourd'hui qu'anticipé pour demain. Cela révèle un certain gain de maturité du jumeau numérique avant une certaine normalisation.

*Note de lecture : 67% des entreprises interrogées estiment que l'un des usages du jumeau numérique aujourd'hui est d'optimiser la conception alors qu'elles sont 39% à estimer que ça sera le cas à horizon 3-5 ans.*

En termes de **secteurs d'activité**, les projets de jumeau numérique auxquels contribuent les entreprises de la Branche se retrouvent sur **6 principaux secteurs d'activité**, avec de **fortes interactions** entre eux :

- ▶ **L'industrie** (aéronautique, spatiale, automobile, navale...) ;
- ▶ **Le transport** (infrastructures ferroviaires...) et la **logistique** ;
- ▶ **Le bâtiment** (construction, exploitation immobilière...) ;
- ▶ **L'urbanisme** et les **territoires** (villes...) ;
- ▶ **L'énergie** (nucléaire, éolien...) ;
- ▶ **La défense** ;
- ▶ **La santé**.



Du fait de l'approche « système », les projets de jumeau numérique couvrent fréquemment **plusieurs secteurs et domaines d'activités**, comme l'illustrent les projets suivants :

- ▶ Jumeau numérique des **gares de la SNCF** (bâtiment et transport ferroviaire)  
- ▶ Jumeau numérique du **CHU de Nantes** (bâtiment et santé)  
- ▶ Appel à projets jumeau numérique **Santé du spationaute** (aérospatial et santé)  
- ▶ Jumeau numérique des futurs **EPR2** (énergie, industrie, bâtiment)     
(European Pressurized Reactor)

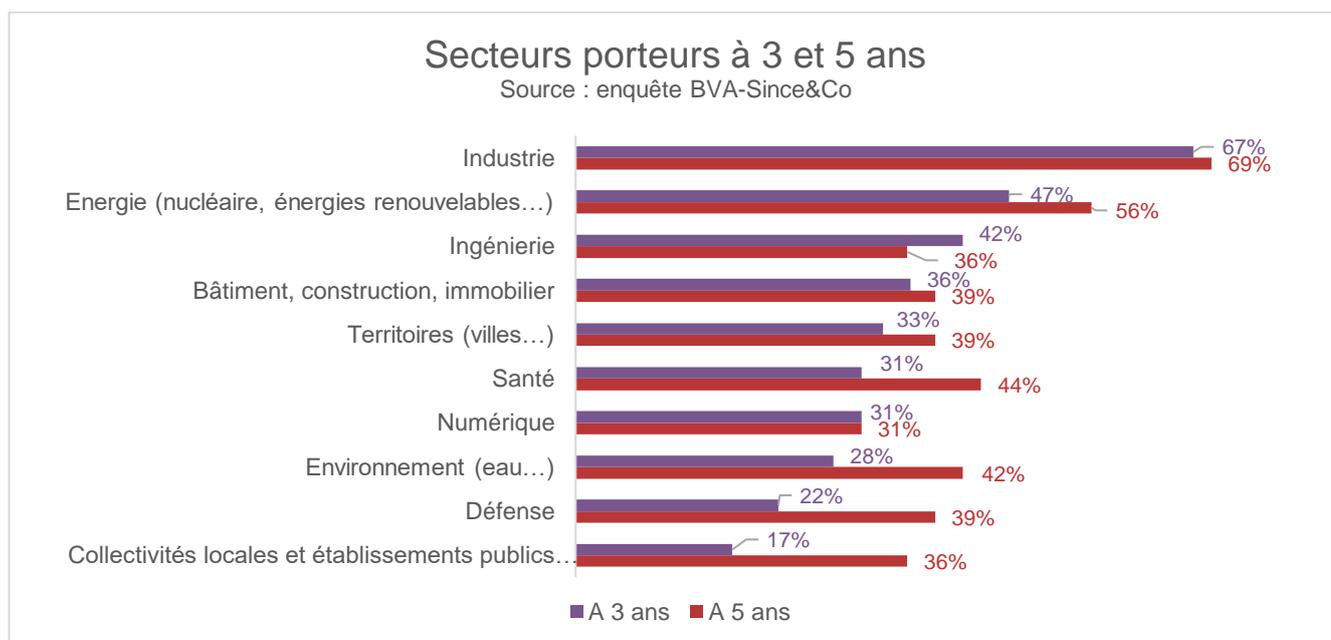
La différence de **maturité** de ces secteurs vis-à-vis du jumeau numérique se révèle notamment par la **diversité des cas d'usage, particulièrement large dans l'industrie**, relativement importante dans le **bâtiment** et plus restreinte dans le transport et la logistique jusqu'à présent. Les cas d'usages recensés sont détaillés, secteur par secteur, au chapitre 4.4.

Les **dynamiques de développement** varient en fonction des **enjeux stratégiques** de chaque secteur, tels que :

-  Performance des processus industriels et réduction des coûts dans l'industrie
-  Maîtrise des coûts et maintenance préventive des infrastructures ferroviaires
-  Performance énergétique dans le bâtiment et l'exploitation immobilière
-  Maîtrise et réduction de l'empreinte carbone dans les villes
-  Optimisation de la conception et de la construction des futures centrales, sûreté nucléaire
-  Préparation d'interventions sensibles en chirurgie, anticipation des effets d'un médicament en pharmacie
-  Optimisation des mises en service opérationnelles des avions, sous-marins et navires, préparation des militaires aux interventions

En termes de potentiel de développement à 3-5 ans, **l'industrie** est nettement perçue comme **le secteur à plus fort potentiel** parmi les secteurs-clients de la Branche, devant **l'énergie** et **la santé** (surtout à 5 ans), deux secteurs d'enjeu et de niveau d'investissement élevé.

Un développement est également anticipé, **de façon plus marquée à 3-5 ans**, pour quatre autres secteurs : **l'environnement** (eau...), **les territoires** (villes...) et la **défense**. Enfin, le **bâtiment** est perçu comme présentant un potentiel de développement de jumeau numérique, de façon similaire à 3 ans et à 5 ans. *A noter : le secteur Transport, logistique n'a été retenue par aucune entreprise ayant répondu à notre enquête.*



*Note de lecture : 42% des entreprises interrogées estiment que l'ingénierie est un secteur porteur pour le développement de jumeau numérique à 3 ans alors qu'elles sont 36% à estimer que cela sera le cas à horizon 5 ans.*

## 4.4. Focus sur les principaux secteurs d'activités en France

La maturité et les dynamiques de développement de chaque secteur d'activité sont synthétisés dans le tableau ci-après :

| Secteurs   | Diversité des cas d'usage                    | Secteur porteur pour la Branche   | Facteurs de développement  |
|--|--|---|--|
|  <b>Industrie</b>                  | +++<br>(~22 recensés, 75 détaillés au total) |  à 3 et 5 ans  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Industrie 4.0</li> <li>Développement du PLM</li> <li>Maîtrise des coûts de l'énergie, des matières premières</li> <li>Durabilité des biens et des équipements, responsabilité sur l'ensemble du cycle de vie</li> </ul>   |
|  <b>Energie</b>                    | ++<br>(~ 19 recensés)                        |  à 3 et 5 ans  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Transition énergétique et environnementale</li> <li>Programme Nouveau nucléaire (EPR2, Cigeo...)</li> </ul>   |
|  <b>Bâtiment &amp; Territoires</b> | ++<br>(~22 recensés)                         | <b>Bâtiment :</b><br> à 3 et 5 ans<br>---<br><b>Territoires :</b><br> à 5 ans | <ul style="list-style-type: none"> <li>Avancées du BIM et extension au BIM GEM (Gestion-Expl.-Maintenance)</li> <li>Appels d'offres publics intégrant une dimension numérique (Building Operating System, Smart Building, Smart City...)</li> <li>Enjeux de performance énergétique et de maîtrise des coûts d'exploitation/maintenance des bâtiments</li> <li>Règlementation ZAN (Zéro artificialisation nette) réduction des zones constructibles urbaine d'ici 2050.</li> <li>Maîtrise des flux aquatiques (risques de submersion des littoraux et d'assèchement des espaces naturels)</li> </ul> |
|  <b>Santé</b>                      | ++<br>(~15 recensés)                         |  à 5 ans   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Séjour « Numérique en santé »</li> </ul>  |
|  <b>Défense</b>                    | +<br>(~9 recensés)                           |  à 5 ans   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Entraînement virtuel en milieu hostile</li> </ul>   |
|  <b>Transport, logistique</b>      | +<br>(~12 recensés)                          |  ND  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Optimisation gestion et maintenance des infrastructures</li> <li>Optimisation chaîne logistique</li> </ul>  |

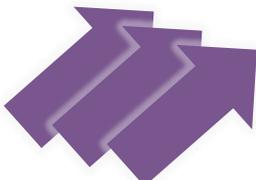


## INDUSTRIE

Le secteur industriel apparaît **le plus avancé**, pour ce qui concerne **l'aéronautique, l'aérospatiale**, en particulier, **l'automobile ou l'industrie navale**.

Le jumeau numérique s'inscrit parfaitement dans le concept « d'industrie du futur ». Selon le chercheur et professeur en Systèmes d'Information à Grenoble École de Management, Federico PIGNI, le « **digital twin est un élément fondamental de l'industrie 4.0** ».

**Tendance à 3 et 5 ans**



**Nombre de cas d'usages recensés**

75

**Les 3 grands enjeux à venir**

1. *Industrie du futur et le Digital Twin*
2. *L'écoconception et la frugalité des procédés*
3. *La Green Tech*

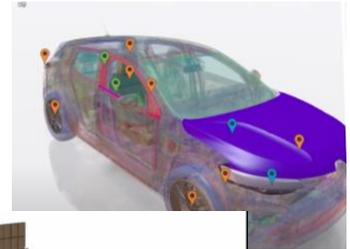
**LES PRINCIPAUX CAS D'USAGES DU JUMEAU NUMERIQUE DANS L'INDUSTRIE :**

| Secteur de l'Industrie   |   |  |
|--|---|--|
| Ligne de production  | Optimisation de la ligne de production  | Optimiser le processus de production en s'appuyant sur la localisation des produits en cours de fabrication et sur le temps réel de trajet   |
|  | Amélioration de la qualité produit en fonction de l'historique de production  | Identifier les causes d'incidents passés en observant de bout en bout des exécutions passées   |
|  |   | Améliorer la compréhension des causes de défauts<br>Prédire les incidents possibles<br>Améliorer la qualité du produit final en simulant des exécutions alternatives   |
|  | Pilotage temps réel de la ligne de production   | Disposer d'une vue globale en temps réel de l'avancement des ordres de fabrication<br>Réagir aux incidents d'exploitation sur les équipements de production  |
|  | Réduction de l'impact environnemental de la chaîne de production  | Réduire l'empreinte Carbone Process / Bâtiment en temps réel<br>Contribuer au calcul de l'empreinte environnementale du produit lors de sa production  |
|  | Amélioration de la conception des lignes de production  | Optimiser la conception de nouvelles lignes ou adapter des lignes de production existantes à de nouveaux produits<br>Aider à la décision pour des choix de relocalisation de la production   |
| Infrastructure Industrielle  | Mise en service virtuelle d'une ligne de production   | Réduire les durées des tests physiques<br>Vérifier ou anticiper les modifications à venir  |
|  | Aide à la maintenance / Maintenance Prédictive (Anticiper) du bâtiment et du process industriel                                 | Prévoir l'obsolescence des éléments<br>Cycle de vie Machine<br>Cycle de vie bâtiment<br>Simuler chaque élément d'un système et ses interactions<br>Simuler et gérer des pannes<br>Préparer une opération de maintenance sur des installations<br>Améliorer la compréhension des causes de pannes |
|  |   | Conception et administration d'une architecture OT/IT d'une usine  |
| Gestion d'une infrastructure industrielle tout au long de son cycle de vie | Maîtriser le CAPEX<br>Réduire le risque par l'unification des données, pas de duplication<br>Maîtriser l'impact environnemental |  |
| Produit  | Amélioration de la conception produit   | Réduire le nombre d'incidents de production<br>Améliorer la fiabilité des futurs produits<br>Améliorer l'adéquation des futurs produits aux besoins des consommateurs<br>Améliorer l'écoconception des produits  |
|  | Traçabilité des impacts environnementaux de la production d'un produit  | Répondre aux exigences réglementaires actuelles ou à venir sur les produits<br>Mesurer puis réduire l'empreinte environnementale des produits (émissions de gaz à effet de serre, consommation, d'énergie ou d'eau...)<br>Tracer la quantité de matières premières utilisées et non utilisées    |
|  | Jumeau numérique du produit en utilisation  | Limiter la consommation d'énergie ou améliorer la sécurité en envoyant à l'opérateur des suggestions personnalisées ou en mettant à jour les logiciels embarqués<br>Recommander une opération de maintenance   |
|  | Réutilisation / recyclage / démontage du produit  | Limiter les impacts environnementaux de la production<br>Faciliter le recyclage et la réutilisation grâce à la traçabilité des différents composants et leur état d'usage  |
|  | Accélération de la réalisation d'un équipement complexe sans attendre la réception de certains de ses composants                | Réduire le temps de construction de l'équipement sans attendre la livraison de sous-composants spécialisés<br>Développer le logiciel système en parallèle de l'acquisition des composants d'un sous-système<br>Faciliter le test des machines complexes  |
| Opérateur  | Formation des opérateurs  | Former sur avatars numériques des usagers sur les équipements livrés (équipages avions, bateaux...)<br>Former des opérateurs sur postes "numériques"<br>Aider au changement de poste<br>Former à la maintenance des équipements  |
|  | Amélioration de l'ergonomie du poste de travail   | Réduire les troubles musculosquelettiques<br>Améliorer l'efficacité au travail grâce à la détection de mouvements inutiles<br>Faire moins d'erreurs liées à la charge cognitive  |

## LES APPLICATIONS DU JUMEAU NUMERIQUE :

Le secteur industriel est intrinsèquement animé par les évolutions technologique et numérique, aux enjeux financiers prioritaires s'ajoutent les enjeux plus récents des économies d'énergies et d'impacts environnementaux. **Le développement du jumeau participe à l'émergence des technologies de l'industrie 4.0. Ce sont les besoins et les exigences, issus de ces enjeux, qui commandent la création du jumeau numérique**, on les retrouvera alors autant dans une volonté **d'amélioration globale de la conception et de la performance d'un produit**, du **suivi de son cycle de vie**, que dans les **phases de tests et de mise en service virtuelle**. Le process industriel (lignes de production et infrastructures supports) est également un terrain d'expérimentation pour le jumeau numérique, ils participent alors entre autres, à **l'optimisation de la production, de la logistique et de la gestion des énergies et des facility**.

En exemple concret d'utilisation du jumeau numérique dans la conception automobile, Renault concède sur son site que « *L'industrie automobile ne peut plus s'en passer. Il a révolutionné les méthodes de travail des acteurs de la conception, de la fabrication et de la réparation d'un véhicule* ». Ainsi **chaque constructeur utilisant cette technologie gagne un temps précieux dans sa conception** (jusqu'à un an pour certain model). Renault fait appel au jumeau numérique pour tester l'aérodynamisme de la carrosserie, les performances du moteur, la gestion de la transmission. **Les simulations, habituelles dans le monde industriel, franchissent une étape dans l'analogie numérique au réel avec l'apport des données d'éléments physiques réels** (température, pression, humidité, contraintes physiques...) dans le jumeau numérique. Les crash-tests et simulations de comportements routiers sont réalisées plus rapidement et en plus grand nombre que ne pourraient l'être des essais physiques. L'étape tests par prototypes physiques reste indiscutable, mais fortement diminuée. **En phase de production et de commercialisation, le jumeau numérique devient alors un outil précieux pour la vente et le suivi des véhicules**. Selon Renault « *Avant la fabrication du véhicule, le jumeau numérique 'alimente' celui qui est physique. À la sortie de l'usine, c'est l'inverse !* ».



Toujours avec une longueur d'avance dans la conception et l'optimisation de ses chaînes de production, Michelin, la firme française, leader du pneumatique, a très vite intégré le jumeau numérique dans ces outils de simulation et prédiction. Actuellement, le fabricant repense l'ensemble du fonctionnement de sa production en Chine avec comme objectifs la **réduction des coûts, l'optimisation de la production, l'agilité de production** (pour un marché en constante évolution) et la **réduction d'émission de CO<sup>2</sup>**. Grâce à la mise en œuvre du jumeau numérique d'usines, Michelin a été capable d'**optimiser sa chaîne de production et sa logistique** et ainsi accroître de ses profits de 5 % et réduire les frais de douane de 60%. De ce constat positif et malgré l'investissement conséquent et la complexité de la collecte des données, Michelin réfléchit à la mise en œuvre du jumeau numérique pour l'ensemble de ses usines.

En exemple des réflexions des industriels de l'aéronautique, Airbus a annoncé en janvier 2023 à l'occasion d'un webinar, avoir expérimenté un jumeau numérique de son usine de Nantes. L'expérimentation portait sur des **machines de rivetages d'éléments aéronautiques**. Ces machines sont les éléments clés de la production et leurs coûts restent très élevés. Leurs exploitations et leurs maintenances sont alors des sujets conflictuels internes. Selon Airbus, **le jumeau numérique a permis de simuler jusqu'à 120 000 pannes et de calculer plusieurs scénarios de durée de vie**. Ainsi, grâce au jumeau, Airbus est capable **d'économiser 15% sur ses coûts de production et de mieux pérenniser ses machines de production**. L'essai concluant amène Airbus à lancé un projet identique dans son usine espagnole.





## TRANSPORT, LOGISTIQUE

Les secteurs du transport et de la logistique évoluent distinctement, car ils ne répondent pas aux mêmes échelles de territoire. Pourtant, ils devront à terme conjuguer leur déploiement pour atteindre des objectifs d'optimisation des réseaux et des flux, quel que soit le moyen de transport, les territoires ou ensemble à desservir (dessertes fluviale et maritime, ferroviaire, logistique, aérienne...).

**Tendance à 3 ans**



**Nombre de cas d'usages recensés**

12

**Les grands enjeux à venir**

1. *Mobilités douces*
2. *Augmentation des services de livraison à domicile*
3. *Connectivités des territoires et des transports*

### LES PRINCIPAUX CAS D'USAGES DU JUMEAU NUMERIQUE DANS LE TRANSPORT ET LA LOGISTIQUE :

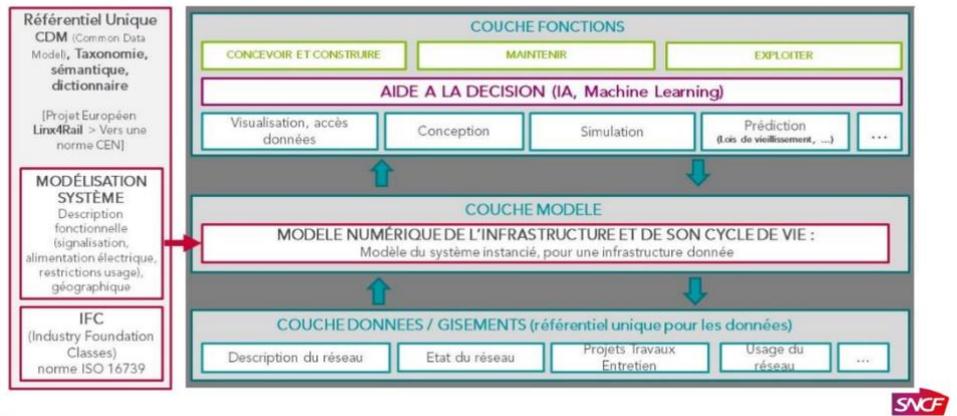
| Secteur Transport - Logistique  |  |
|---------------------------------|--|
| Packaging/Conteneur             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Prédiction comportement matériaux d'emballage</li> <li>○ Anticipation risques de bosses, fissures, réparation</li> </ul>  |
| Expédition                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Prédiction état du produit transporté</li> <li>○ Anticipation des flux produits</li> </ul>  |
| Entrepôt/Centre de distribution | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Optimisation Conception/Aménagement Chaines logistiques, entrepôts, infrastructures</li> <li>○ Maintenance prédictive d'ouvrages, infrastructures (gares, réseaux, rails...)</li> <li>○ Optimisation de l'exploitation des bâtiments et infrastructures</li> <li>○ Simulation des impacts chantiers sur les flux logistiques</li> </ul> |
| Hub logistique                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aide à la prise de décisions en termes d'actifs et leurs évolutions</li> <li>○ Aide à la prise de décisions lieu d'accostage, de déchargement</li> <li>○ Anticipation et gestion des flux véhicules, avions, bateaux, trains...</li> <li>○ Identification des chemins critiques, simulation des actions correctives</li> </ul>          |

**LES APPLICATIONS DU JUMEAU NUMERIQUE :**

Pour ce qui concerne le **secteur des transports**, la SNCF voit par exemple dans le jumeau numérique un **moyen d’optimiser la gestion de ses infrastructures**. L’entreprise publique doit maintenir en état des milliers de kilomètres de lignes avec la contrainte de créer, dans le même temps, de nouvelles voies et infrastructures, d’où **l’enjeu d’être en capacité de prioriser les chantiers et la maintenance**. Elle estime que les apports du jumeau numérique n’ont pas vocation à rester du ressort des équipes d’ingénieurs réseau, mais qu’ils doivent **permettre à des équipes métiers très différentes d’accéder aux données d’évolution du réseau en visualisant et simulant ou prévoyant un impact choisi**. Le Groupe considère que c’est la «  *pierre angulaire*  » de sa politique de transformation digitale en utilisant un langage et un modèle harmonisés entre les différentes données à travers un référentiel unique CDM ( *Common Data Model* ), une architecture et des ontologies standardisées.

D’ici 2025, l’objectif de la SNCF est que le jumeau numérique soit **l’outil de référence de la prise de décisions stratégiques en termes d’actifs « depuis la conception jusqu’à la maintenance »** (conception, exploitation, maintenance). SNCF Réseau communique sur ses avancées et perspectives : création d’une bibliothèque de plus de 400 objets BIM avec pour projet de monter jusqu’à 2 000, d’y ajouter les gares ; modélisation typologique du réseau permettant de connaître son état en temps réels, avant d’être en capacité, d’ici 2025, de faire de la maintenance 100% prédictive.

Le jumeau numérique s’appuie sur des données, modèles, fonctions et une organisation en couches



En tant qu'utilisateur de process organisés, le **secteur de la logistique** a rapidement compris l'intérêt de la technologie du jumeau numérique. Des applications concrètes pourraient s'appliquer sur le packaging, la conteneurisation pour prédire le comportement des matériaux d'emballage, l'identification des risques de bosses, de fissures et d'anticiper les réparations. Des objets connectés commencent à être utilisés pour le suivi des expéditions de produits à haute valeur. Le jumeau numérique pourrait alors utiliser ces sources de données et permettre **l'analyse et la prédiction liées à la qualité de l'emballage et de la livraison**. Comme dans les autres industries, le jumeau numérique permet déjà **la conception optimisée des chaînes logistiques ainsi que de leurs entrepôts**, de la même manière, il sera le **support de formation des opérateurs** (fort turn-over dans ce secteur).



Aujourd’hui, les grands hubs logistiques comme l’E-valley à Cambrai, les aéroports ou encore les terminaux portuaires souffrent de devoir faire face à une forte croissance de données disponibles, dans un contexte d’échange toujours plus dense d’informations, parfois sur des circuits parallèles ou déconnectés, sources d’erreurs et de dysfonctionnement potentiel. En réponse, le jumeau numérique peut offrir des **solutions de gestion globale en intégrant l’ensemble des flux (personnes, objets, véhicules...), mais également les éléments de contraintes** comme la météo, les aspects sociaux-économiques ou les contraintes environnementales.

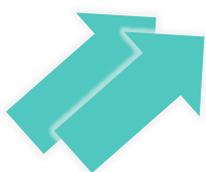
Aujourd’hui en France, comme chez Savoye, spécialiste du déploiement de chaînes logistiques, le jumeau numérique est **principalement utilisé en conception dans l’objectif d’optimiser les flux, réaliser des tests « end-to-end » et simuler une large gamme d’évènements susceptibles de se produire dans le monde réel**. DHL, la plus grande entreprise de logistique mondiale et présente en France, utilise déjà des objets connectés dans ses chaînes logistiques, ainsi que des lunettes de réalité augmentée pour les opérateurs. La firme affirme sa volonté de **passer à la technologie du jumeau numérique de la supply chain**, à l’image du **Port de Singapour** où les autorités portuaires l’associent à l’intelligence artificielle pour **résoudre des problèmes de flux, tester des scénarii d’évolution** et, dans un proche futur, être un **outil de prise de décision du lieu d’accostage des navires**.



## ENERGIE

Ce secteur **apparaît moins mature** que les industries précédemment citées, avec un engagement d'EDF et d'autres acteurs de la filière depuis 3 à 5 ans environ dans le cadre de la transformation numérique de la filière.

Tendance à 3 et 5 ans



Nombre de cas d'usages recensés

19

Les 3 grands enjeux à venir

1. *Industrie du futur et le Digital Twin*
2. *L'écoconception et la frugalité des procédés*
3. *La Green Tech*

### LES PRINCIPAUX CAS D'USAGES DU JUMEAU NUMERIQUE DANS L'ENERGIE :

| Secteur Energie   |  |
|---|--|
| Conception des réseaux et infrastructures   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simulation impacts projet sur l'environnement</li> <li>○ Simulation des impacts de modifications de réseaux et infrastructures</li> <li>○ Simulation des contraintes environnementales sur la future infrastructure ou réseaux</li> <li>○ Aide à la spécification et à la validation des exigences de sécurité</li> <li>○ Aide à la requalification fonctionnelle suite à des modifications d'installation</li> </ul> |
| Construction des ouvrages et infrastructures (Centrales, Réseaux, raffineries...) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Optimisation de la conception</li> <li>○ Suivi et optimisation de la phase chantier</li> <li>○ Continuité de la donnée des ouvrages</li> </ul>  |
| Gestion des réseaux et infrastructures  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gestion des flux d'énergie</li> <li>○ Anticipation des surcharges</li> <li>○ Gestion et anticipation des chemins critiques</li> <li>○ Maintenance prédictive des réseaux</li> <li>○ Scénarisation des remplacements d'actions de maintenance, anticipation des conséquences</li> </ul>  |
| Conception des composants   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simulation du cycle de vie des nouveaux composants à haute technicité (modélisation, rigidité, résistance, écoulement...)</li> <li>○ Simulation des séries de tests avant production et mise en service</li> <li>○ Surveillance des composants à haute technicité</li> </ul>  |
| Formation des opérateurs  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Espaces virtuels d'entraînement des opérateurs</li> <li>○ Anticipation de la gestion de situation critique</li> </ul>   |
| Support à la R&D  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Analyse de la performance liée à la desserte du réseau</li> </ul>   |

**LES APPLICATIONS DU JUMEAU NUMERIQUE :**

En 2017, au colloque de la Société française de l'énergie nucléaire (SFEN), Xavier Ursat, directeur chargé de l'ingénierie et du nouveau nucléaire d'EDF explique, au sujet de l'introduction du numérique dans la gestion des centrales nucléaires, « *L'aéronautique et l'automobile l'ont fait plus vite, plus fort et plus complètement que nous, il faut avoir l'humilité de le reconnaître* ». Dans ce chantier figure le projet du déploiement du jumeau numérique sur l'ensemble du parc : « *de véritables clones virtuels de nos centrales, réalisés sur la base de scans laser et de photos 3D* », selon Pierre Bérour, directeur de la transition numérique industrielle d'EDF.

Depuis le 1er janvier 2020, neuf acteurs, dont cinq relevant de la Branche des bureaux d'études, se sont engagés à mutualiser leur expertise R&D pendant quatre ans afin de **développer un jumeau numérique d'un réacteur nucléaire.** (cf. ci-contre)

Piloté par EDF, le projet est financé par le **Programme d'Investissements d'Avenir (PIA)**. Il est soutenu par le Groupement des Industriels Français de l'Énergie Nucléaire (GIFEN), ainsi que par le pôle de compétitivité Nuclear Valley. Il contribue directement au Contrat Stratégique de la Filière Nucléaire et s'inscrit dans l'initiative Usine Nucléaire du Futur. Sur son site, EDF présente les bénéfices attendus : « *Utile dès la conception jusqu'à la déconstruction en passant par l'exploitation et la maintenance, le Réacteur Numérique va fournir aux ingénieurs et exploitants un environnement intégré de visualisation des phénomènes physiques complexes, leur permettant d'aboutir à une simulation de plus en plus prédictive, et ce, en toute situation de fonctionnement (normal ou incidentel), même là où les données sont inexistantes* ».



L'enjeu du jumeau numérique pour la filière nucléaire s'est renforcé avec l'annonce d'Emmanuel Macron, en 2022, du lancement de la construction de 6 EPR2 d'ici à 2033. « **EPR2 est notre premier projet Digital Native, il aura son jumeau numérique du début à la fin** », a indiqué Bruno Lièvre, directeur de la transformation numérique de l'ingénierie nucléaire d'EDF. « *Nous avons basculé les 16 millions de données qui correspondent à la tranche sur la 3DExperience pendant l'été 2022. Ce jumeau numérique va accompagner la tranche sur toute sa durée de vie* ». A partir de ce socle, de nombreuses applications vont être développées pour accompagner la conception de l'EPR2 (génie civil, électricité, contrôle commande...), puis la gestion des configurations des tranches EPR2. La réalisation des tranches fera également l'objet d'un jumeau numérique dans l'objectif d'optimiser l'ensemble des flux et de garantir les plannings de livraison, « *une seule tranche EPR2 représente 150 hectares et 10 000 ouvriers/ jour, l'ensemble des équipements et véhicules seront équipés d'objets connectés, la masse importante de données recueillies servira en temps réel à de multiples cas d'usages grâce au jumeau numérique du chantier* » selon Alain Despiau-Peyralade, expert digitaltwin d'EDF.

**Réacteur Numérique : Carte d'identité**

|   |  |   |
|---|--|---|
| <p><b>Partenaires</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• EDF</li> <li>• CEA</li> <li>• Framatome</li> <li>• ESI Group</li> <li>• CORYS</li> <li>• Aneo</li> <li>• Axone</li> <li>• Boost-Conseil</li> <li>• et le CNRS (laboratoire CRAN de Nancy)</li> </ul> | <p><b>Soutiens</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Groupement Français de l'Énergie Nucléaire (GIFEN)</li> <li>• Pôle de compétitivité</li> </ul> | <p><b>Personnel</b></p> <p>186 équivalents temps plein (ETP) sur 4 ans.</p> |
| <p><b>Dates</b></p> <p>Du 1<sup>er</sup> janvier 2020 au 31 décembre 2023</p>   |  |   |

D'autres projets et développements sont en cours ou prévus au sein de la filière, avec l'association d'entreprises de la Branche : jumeau numérique des futurs réacteurs SMR Nuward ; jumeau numérique d'une installation nucléaire pour la simulation de son démantèlement (Assystem) ; diagnostic 4.0 (start-up Metroscope) ; etc.



## BATIMENT & TERRITOIRES

L'arrivée du **BIM** (Building Information modelling) en France puis du **CIM** (City information modelling) pourrait permettre un déploiement du jumeau numérique plus rapide dans le bâtiment et les territoires. S'il est moins avancé aujourd'hui que dans les secteurs industriels leaders, la tendance à 3-5 ans apparaît favorable au regard, notamment, des enjeux énergétiques et environnementaux.

**Tendance à 3 et 5 ans**

**Nombre de cas d'usages recensés**

19

**Les grands enjeux à venir**

1. *La rénovation énergétique des bâtiments*
2. *L'entretien-maintenance du parc bâti et ouvrages d'arts*
3. *L'optimisation des infrastructures : gestion immobilière et gestion des flux*

### LES PRINCIPAUX CAS D'USAGES DU JUMEAU NUMERIQUE DANS LE BATIMENT :

| Secteur du Bâtiment  |  |
|--|--|
| Collaboration entre acteurs  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gestion de projet, collaboration numérique</li> <li>○ Prédiction de planification, d'approvisionnement</li> <li>○ Anticipation des contraintes projet</li> </ul>  |
| Aide à la décision   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simulation projets (impacts du projet sur l'environnement, sur les flux...)</li> <li>○ Scénarisation des projets pour répondre aux attentes "bâtiment zéro carbone"</li> <li>○ Scénarisation d'utilisation, de réhabilitation d'un ouvrage</li> <li>○ Simulation des contraintes environnementales sur l'ouvrage (thermique, solaire, vent, humidité, salinité...)</li> </ul> |
| Utilisation de la donnée du patrimoine pour l'exploitation et la maintenance | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gestion des données en temps réel pour la maintenance (curative, prédictive), l'exploitation. Carnet de santé du bâtiment</li> <li>○ Continuité des données, de la conception, l'exécution à la gestion exploitation maintenance</li> <li>○ Anticipation budgétaire, Plan annuel...</li> <li>○ Gestion immobilière</li> </ul>   |

### LES PRINCIPAUX CAS D'USAGES DU JUMEAU NUMERIQUE DANS L'URBANISME :

| Secteur de l'urbanisme             |  |
|------------------------------------|--|
| Communication<br>Collaboration     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Faciliter le dialogue avec l'ensemble des acteurs d'un territoire</li> <li>○ Créer du Tourisme virtuel</li> </ul>   |
| Visualisation<br>Contextualisation | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Visualiser du patrimoine paysager (Arbres, cultures...) et simuler leur évolution</li> </ul>  |
| Optimisation budgétaire            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simuler des différents aménagements et flux (trafic routier, mobilités douces...)</li> <li>○ Simuler et optimiser des coûts d'exploitation, des consommations énergétiques</li> <li>○ Réduire les coûts et délais des projets d'aménagement</li> </ul>  |
| e-administration                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Suivi des demandes de permis de construire</li> </ul>   |
| Simulation/Prise de décision       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simuler les phénomènes physiques pour l'aménagement de quartiers (Dynamiques des flux du vent, apports solaires, ombres portées des bâtiments)</li> <li>○ Anticiper et Gérer les risques naturels/industriels (Inondations, séismes, dispersions des fumées, substances dangereuses)</li> </ul> |
| Support de l'Innovation            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Support de développement de start-up</li> <li>○ Support de création de nouveaux marchés</li> </ul>  |

**LES LIENS DU JUMEAU NUMERIQUE AVEC BIM & CIM, SES APPLICATIONS DANS LE BATIMENT ET LES TERRITOIRES :**

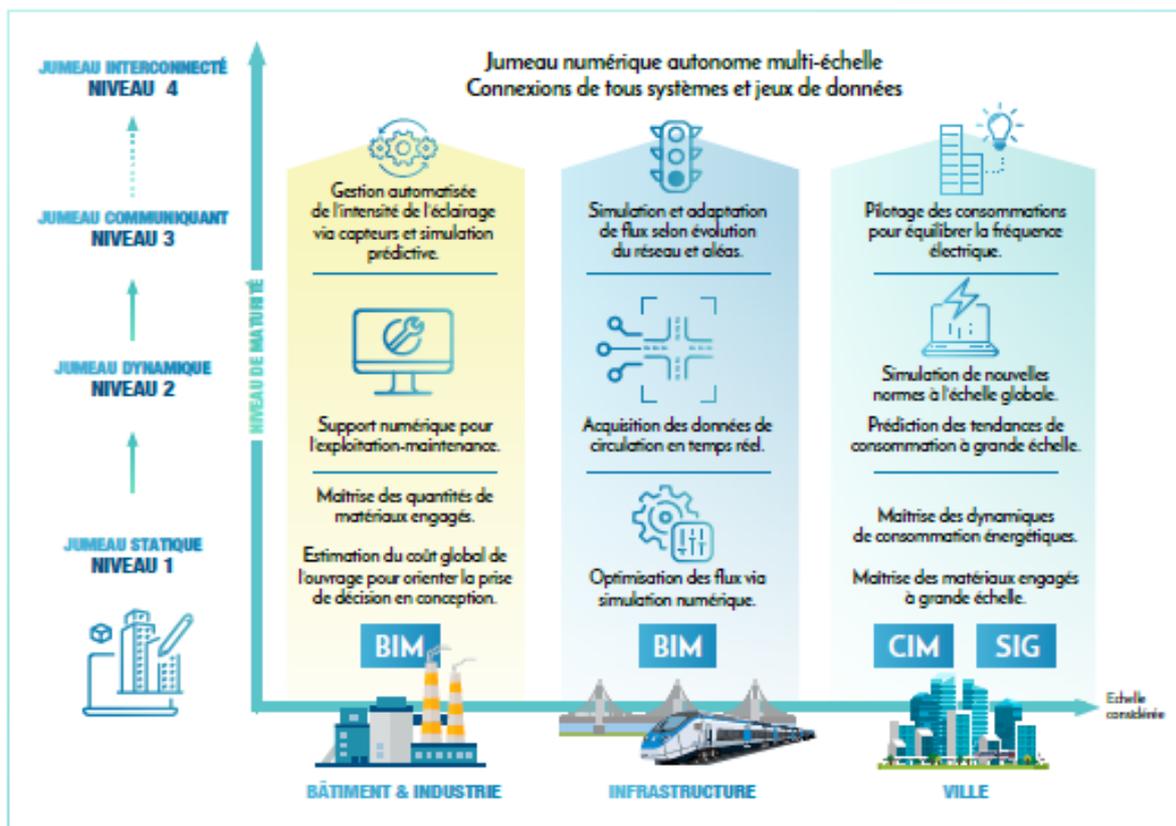
Plusieurs travaux et publications professionnelles font référence à une **notion de maturité ou niveau de jumeau numérique** intéressante pour mettre en évidence l'évolution des usages des jumeaux numériques dans le bâtiment et les territoires.

Ainsi, Syntec Ingénierie distingue **4 niveaux de complexité et d'usages** :

1. **Jumeau statique** utilisé en conception, calcul et simulation ;
2. **Jumeau dynamique** intégrant des données acquises en temps réel, permettant l'exploitation de données de fonctionnement (ex : maintenance prédictive) ;
3. **Jumeau communicant**, dont les échanges bidirectionnels permettent un pilotage du système réel ;
4. **Jumeau interconnecté (réseau)**, dans lequel l'interconnexion de plusieurs jumeaux en un ensemble fonctionnel cohérent permet d'optimiser le fonctionnement d'un ensemble d'ouvrages, infrastructures ou équipements.

Ces 4 niveaux de jumeau peuvent se déployer à **différentes échelles** - bâtiment, infrastructures et territoire (ville) – et prendre pour socle **les approches BIM et CIM**, qui se déploient progressivement, ainsi que les **systèmes d'information géographique (SIG)** (cf schéma ci-après).

**INCIDENCE DU JUMEAU NUMERIQUE SUR LES ÉCHELLES DU BÂTIMENT/INDUSTRIE, DE L'INFRASTRUCTURE ET DES TERRITOIRES**



*Le jumeau numérique au service du changement climatique – Note de position Syntec Ingénierie*

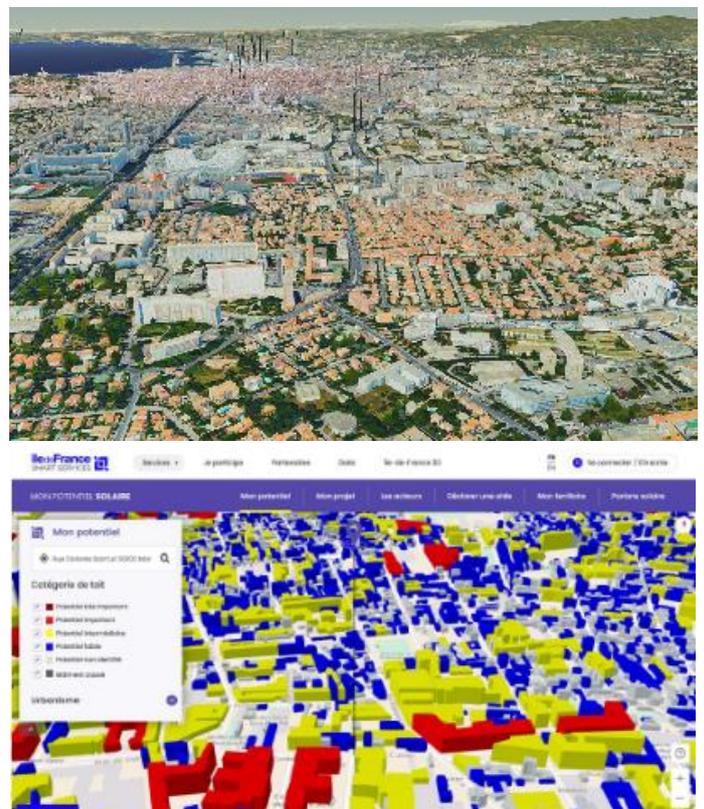
Toutefois, depuis 2014 et le rapport Delcambre décrivant un plan ambitieux porté par l'Etat, le **processus BIM** peine à trouver ses utilisateurs dans le secteur du bâtiment. Malgré une évolution constante des technologies (scan 3D, logiciels de modélisation, plateformes collaboratives...), le BIM souffre d'une dichotomie entre **la pertinence de ses usages** pour tendre vers la performance globale et **une certaine réticence des acteurs** qui le voient comme quelque chose de coûteux et difficile à mettre en place. Les retours d'expérience montrent que le principal frein est d'ordre culturel, avec des acteurs qui ne sont pas suffisamment formés au travail collaboratif.

Pour autant, plusieurs facteurs apparaissent favorables au déploiement du BIM et du jumeau numérique dans le bâtiment. Ils s'inscrivent très clairement dans l'objectif « **Construire plus, mieux et moins cher** » de la loi ELAN (loi portant évolution du logement de l'aménagement et du numérique du 23 novembre 2018). Leurs cas d'usage peuvent aussi contribuer à répondre au **plan de rénovation énergétique** porté par la Loi Climat et Résilience publiée au JO le 24 août 2021.

C'est le cas également dans **l'urbanisme et les territoires**, où le jumeau numérique apparaît comme un outil permettant de **fédérer des données de sources variées** et de **constituer une source unique, fiable et pérenne**. Dans ce domaine, l'utilisation courante des systèmes d'information géographique (SIG) et les politiques publiques en faveur de la création de « smart cities » sont **deux facteurs facilitants**. Ainsi, le **dispositif d'Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI) - France 2030** est un **vrai levier pour le développement du jumeau numérique auprès des maîtrises d'ouvrage publiques locales**. La **ville de Mulhouse** fait partie des 39 lauréats qui compte utiliser cette technologie dans son projet de reconquête d'un patrimoine industriel d'exception. « *Plus qu'un simple jumeau numérique, cet outil sera une véritable plateforme collaborative urbaine, puisqu'elle est pensée à la fois comme un moyen permettant de contribuer aux enjeux environnementaux et économiques d'un quartier durable (sobriété et efficacité énergétique à l'échelle d'un bâtiment, du quartier, gestion des espaces verts, biodiversité, mobilité)* » (communiqué de presse de la Ville de Mulhouse).

La France compte déjà **plusieurs jumeaux numériques de villes ou territoires**, en action ou en projet. En voici quelques exemples :

- **Métropole de Lyon** – Permet de communiquer les opportunités foncières auprès des acteurs immobiliers.
- **Agglomération Pau Béarn Pyrénées** – Projet de JN afin de simuler les coûts d'exploitation pour les optimiser et réduire les coûts et les délais des projets d'aménagement
- **Port de Bordeaux – Estuaire de la Gironde** – Jumeau numérique de l'ensemble de l'estuaire, destiné à des usages Citoyens, Scientifiques et Décideurs. Cinq cas d'usages sont traités : aide à la décision de dragage, études simplifiées sur l'environnement, aide à la navigabilité, au suivi des amarrages et à l'exploitation des terminaux, analyse et tendances des paramètres liés à la vie aquatique et prédiction face aux impacts du changement climatique.
- **Rennes** – Jumeau numérique de la métropole visant à la gestion de la consommation énergétique des bâtiments, de la gestion de la nature en ville, du suivi des données de mobilité et de collaboration avec les citoyens (réalité augmentée...).
- **Métropole Aix-Marseille-Provence** – Jumeau numérique de la Métropole en cours de création pour l'aide à la prise de décision, promotion du territoire, potentiel solaire, simulation des catastrophes naturelles.
- **Région Île-de-France** – Jumeau numérique pour l'évaluation du potentiel solaire sur la région.
- **Ville d'Angers** – Jumeau numérique en projet, impact des projets urbains et de construction.



**Le marché du jumeau numérique dans l'urbanisme est donc bien lancé sur le territoire**, les retours d'expérience comme celui du Port de Bordeaux assurent une assise prometteuse pour les autres projets. Il faut néanmoins bien prendre en compte les enjeux et contraintes liées à ce développement, à savoir, comme le cite le rapport « *Miroir, miroir...le jumeau numérique du territoire* » de la Banque des territoires :

- Prendre en compte les **capacités d'investissement** de la collectivité concernée pour mener un projet dont le ROI n'a pas été établi.
- Prendre compte la maturité de la collectivité concernée en matière de **conduite de projets de transformation digitale**.
- Rentrer dans **un marché peu mûr** avec un grand nombre d'acteurs qui prétendent proposer des solutions de jumeau numérique, alors que leurs offres ne représentent que des briques partielles d'un jumeau numérique, ce qui peut induire en erreur.
- Être attentif aux **aspects juridiques et éthiques** que la mise-en œuvre d'un jumeau numérique pose en matière de gestion des données (propriété des données, RGPD, etc.).
- Être attentif aux aspects **cybersécurité** des infrastructures et cyber-attaques.



## SANTE

Parmi les secteurs étudiés dans le périmètre de l'étude, **la santé semble être celui où la technologie et le concept de jumeau numérique sont les plus embryonnaires.**

Pour autant les applications envisagées sont nombreuses : pharmacologie, chirurgie assistée, formation des praticiens, anticipation des risques. Le secteur médical représente des perspectives de développement considérables, mais il se heurte à des questions éthiques qui soulèvent la limite de l'intrusion du numérique dans le rapport au corps humain.

**Tendance à 5 ans**

**Nombre de cas d'usages recensés**

15

**Les 3 grands enjeux à venir**

1. *La crise du système de santé*
2. *Les pénuries de médicaments et de matériel*
3. *Le vieillissement de la population*

### LES PRINCIPAUX CAS D'USAGES DU JUMEAU NUMERIQUE DANS LE SECTEUR DE LA SANTÉ :

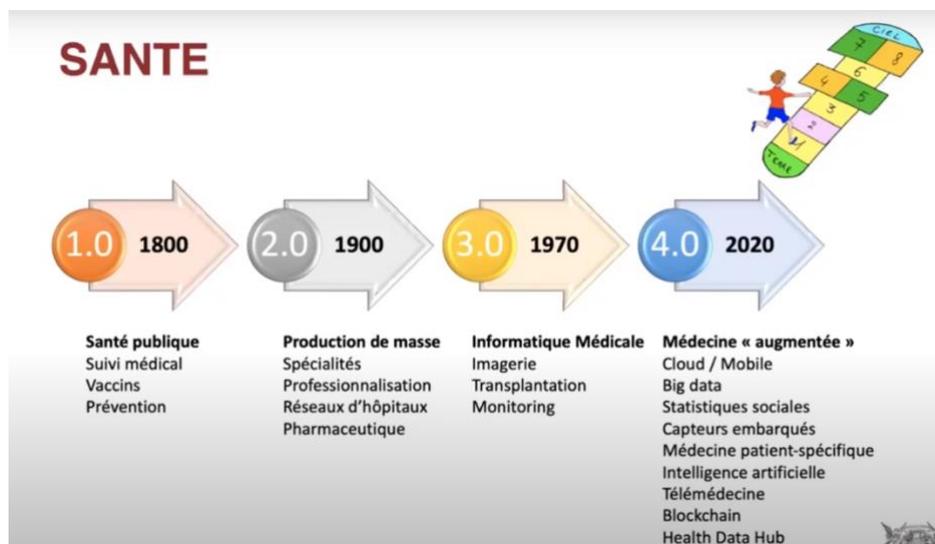
| Secteur de la santé                   |   |
|---------------------------------------|---|
| Conception de médicaments / molécules | ○ Tester la réaction de molécule sur un organisme virtuel   |
| Traitements médicamenteux             | ○ Tester des traitements sur un patient virtuel   |
| Chirurgie / Opération                 | ○ Développer la simulation d'opérations complexes   |
|                                       | ○ Former sur des opérations, sans risques pour les patients, Former des internes, former des chirurgiens isolés |
|                                       | ○ Planification d'opération   |
|                                       | ○ Simuler l'implantation de nouveaux dispositifs, anticiper la réaction de l'organisme                          |
|                                       | ○ Simuler et optimiser les prothèses  |
|                                       | ○ Simuler la <u>bio-mécanique</u> , analyse prédictive  |
| Développement équipement              | ○ Aider les chirurgiens lors des opérations complexes ou à distance   |
|                                       | ○ Concevoir et optimiser les équipements de salles d'opération  |
| Hôpitaux                              | ○ Gérer la maintenance des équipements chirurgicaux   |
|                                       | ○ Gérer les flux de patients  |
|                                       | ○ Organiser le parcours patient individualisé   |
|                                       | ○ Gérer et exploiter les bâtiments et infrastructures   |

### LES APPLICATIONS DU JUMEAU NUMERIQUE :

Différents essais ont été effectués sur **des médicaments ou des organes**, car leur structure est représentable virtuellement. On retrouve également des jumeaux numériques pour permettre de **gérer les consommables et les ressources (médicaments, matériaux) d'un service hospitalier à flux tendus et dans les situations de pénurie** telles que le secteur a pu connaître récemment. Le but est de permettre la prise de décisions rapide dans des situations d'urgence à court terme et limiter le risque pour le patient et les soignants. Le jumeau numérique pourrait aider à alerter les autorités sanitaires ou les Directions des soins sur les risques à venir et permettre de redéployer les moyens, mais ces systèmes sont peu utilisés par les établissements sanitaires. Le jumeau numérique semble **plus utilisé dans la prédiction que dans la simulation du réel**, tel qu'on l'entend dans les autres secteurs d'activité. Par exemple, le SAMU de Paris a testé en 2019 une cellule de crise suite à un attentat.

On trouve un autre exemple d'application concrète au CHU de Saint Etienne, avec le **jumeau numérique d'un bloc opératoire afin de développer la chirurgie ambulatoire**. Pour cela, l'établissement a fait appel aux étudiants d'une école d'ingénieurs pour décrire précisément le parcours d'un patient de son arrivée dans le service jusqu'à sa sortie en termes de temps pour chacune des étapes, de professionnels mobilisés, de salles et de matériels utilisés... Cela a permis de calculer exactement combien de patients pouvaient être opérés dans un laps de temps défini, avec quelle quantité de matériel, d'évaluer les conséquences d'une saturation des autres services et de connaître le seuil d'alerte pour lequel les autorités doivent prendre des décisions pour la continuité des soins.

Plusieurs initiatives médicales françaises se rapprochent de l'utilisation du jumeau numérique de prothèses, à l'instar de la Société Française pour le développement de la chirurgie assistée par ordinateur en orthopédie (CAOS) qui favorise la collaboration entre cliniciens, chercheurs, ingénieurs et industriels dans l'objectif du développement et de l'intégration de nouveaux outils logiciels ou technologiques dans la pratique chirurgicale quotidienne. Mais l'utilisation d'avatars numériques lors d'opérations chirurgicales rencontrent de nombreux freins tels que la complexité de gestion de l'outils numérique pendant l'opération, la résistance au changement de la profession, les formations supplémentaires à mettre en œuvre dans les facultés de médecine et l'utilisation et la sécurisation des données patients. Néanmoins, de plus en plus de recherches et de publications se font sur le sujet de la chirurgie et l'utilisation de la réalité augmentée ou réalité mixte, précurseur du jumeau numérique (1 500 publications mondiales selon The Indian Journal of Surgery Fév 2022), la France étant dans les dix premières nations à publier sur ces sujets.



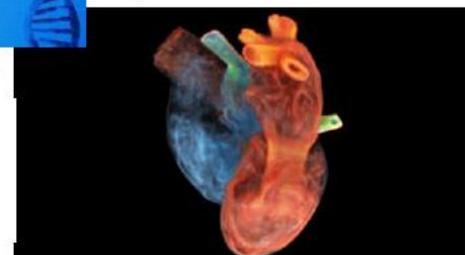
Présentation Marc Olivier Gauci - Académie Nationale de Chirurgie

En matière **d'industrie pharmaceutique**, les acteurs historiques ne sont pas encore prêts, n'ayant pas les outils de recueil de métadonnées nécessaires. Les géants américains du numérique (GAFAM) investissent massivement dans des entreprises innovantes de la data et de l'IA susceptibles de **construire des modèles fiables et industrialisables à grande échelle**, pouvant permettre à terme la mise au point du jumeau numérique d'implant.



Source : Dassault System, Révolution des soins grâce au jumeau numérique humain, pour l'entraînement des chirurgiens La revue du digital

Source : Siemens Healthineers, le jumeau numérique cardiaque en partenariat avec l'Université de Bordeaux



Parmi les exemples existants, on peut citer le cabinet PWC qui a développé l'**application Bodylogical** pour permettre de cibler les individus susceptibles d'être atteints de maladies qu'ils ignorent, grâce à l'alliance de la data et des savoirs scientifiques. Cette application à destination des industries pharmaceutiques permettrait à ces dernières de cibler l'ensemble des patients potentiellement consommateurs de leurs médicaments et aussi de faire de la prévention.

Siemens Healthineers crée aussi des jumeaux numériques de patients à destination de médecins, dans la chirurgie par exemple.



## DEFENSE

En France, malgré le secret inhérent à ce secteur stratégique, plusieurs projets démontrent que la technologie du jumeau numérique devient un sujet de développement prépondérant au sein des armées.

### Tendance à 5 ans



### Nombre de cas d'usages recensés

9

### Les 3 grands enjeux à venir

1. *Recrudescence de crises*
2. *Menaces de cyberattaques*
3. *Nouveaux terrains d'attaques*

### LES PRINCIPAUX CAS D'USAGES DU JUMEAU NUMERIQUE DANS LE SECTEUR DE LA DÉFENSE :

| Secteur de la défense  |   |
|--|---|
| Conception des équipements, aéronefs, sous-marins, navires de guerre | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Améliorer la qualité et la fiabilité de l'équipement final</li> <li>○ Vérifier ou anticiper les modifications à venir</li> <li>○ Réduire le temps de construction de l'équipement sans attendre la livraison de sous-composants spécialisés</li> </ul>   |
| Maintenance prédictive   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Suivre le cycle de vie Machine</li> <li>○ Recommander une opération de maintenance</li> <li>○ Identifier les causes d'incidents passés</li> <li>○ Prédire les incidents possibles</li> <li>○ Prévoir l'obsolescence des éléments</li> <li>○ Préparer une opération de maintenance sur des équipements</li> </ul> |
| Mise en service virtuelle  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Réduire les durées des tests physiques</li> <li>○ Simuler des pannes</li> </ul>  |
| Mise en situation de stress des équipements                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Améliorer la compréhension des causes de défauts</li> </ul>  |
| Simulation de manœuvre   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simuler le terrain d'affrontement et les participants</li> <li>○ Simuler chaque équipement d'un champ d'opération et ses interactions</li> </ul>   |
| Evaluation des capacités opérationnelles d'un équipement             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tester la capacité de l'équipement dans un environnement virtuel</li> </ul>  |
| Formation des opérationnels  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simuler le terrain d'affrontement et les participants à l'affrontement</li> <li>○ Former sur avatars numériques des équipements (équipages avions, bateaux, armement...)</li> <li>○ Former à la maintenance des équipements</li> </ul>   |
| Collaboration entre alliés, reproduction de théâtres d'opérations    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Simuler le terrain d'affrontement et les participants, faciliter la communication</li> <li>○ Anticipation des mouvements ennemis</li> </ul>  |

**LES APPLICATIONS DU JUMEAU NUMERIQUE :**

A l'image de l'industrie civile, l'industrie militaire a intégré l'utilisation du jumeau numérique, avec le soutien de la BITD (Base Industrielle et Technologique de Défense) dans l'objectif d'optimiser la production, la mise en service et la maintenance de leurs appareils. Les avionneurs et les motoristes utilisent par exemple la technologie du jumeau numérique pour modéliser les besoins en maintenance de leurs produits, avec un gain de temps dans l'estimation des coûts de réparations à effectuer. Autre exemple, le Suffren, dernier sous-marin nucléaire d'attaque français, fait l'objet d'une phase de tests virtuels. L'utilisation du jumeau numérique a réduit le temps de production, passant de 18 à 3 mois seulement et s'intègre désormais dans la vie des bâtiments de guerre pour lesquels une maintenance rigoureuse est nécessaire.

Sur le terrain militaire, une entreprise de défense française a développé une « caisse à sable » virtuelle qui permet de coplanifier des missions à distance en reproduisant virtuellement les théâtres d'opérations. Cette caisse à sable, prémisses d'un jumeau numérique de terrain, permet de représenter les données physiques du terrain, les situations tactiques et prises de décisions de la façon la plus réaliste possible.



Crédit Armée de Terre

Pouvoir visualiser l'environnement et y mettre en place des tactiques, tout en limitant l'exposition des forces, le jumeau numérique revêt un intérêt majeur pour les armées. « En France, cet objectif se concrétise déjà dans l'accent mis sur la préparation opérationnelle au sein du programme d'armement SCORPION, présenté par l'armée de Terre en 2018. Ce plan visant à adapter les systèmes de combat aux nouvelles menaces insiste notamment sur la simulation embarquée (SEMBA), ancrage qui s'est concrétisé dans la mise en œuvre d'un simulateur d'entraînement des postes de commandement de niveau brigade et régiment (SOULT - Simulation pour les opérations des unités interarmes et de la logistique terrestre) ainsi que de centres d'entraînement collaboratifs adéquats (CERBERE -centres d'entraînement représentatifs des espaces de bataille et de restitution des engagements). Déjà utilisée en mode statique dans le cadre du programme SCORPION avec les opérations SERKET et SINETIC, la simulation prendra un nouveau tournant en 2022, en évoluant vers un mode dynamique. Ces simulations permettront aux combattants

de s'entraîner avec du matériel réel : les optiques d'un véhicule de combat feront alors apparaître les forces amies et ennemies en réalité augmentée (cf schéma ci-contre). Dans la même optique, les CENZUB (centre d'entraînement aux actions en zone urbaine) seront numérisés et optimisés. Des capteurs, caméras et autres technologies permettront une meilleure évaluation des performances des soldats. Il serait même possible d'imaginer la collecte de ces données par les instructeurs afin de répertorier les performances de chacun des combattants et leurs axes d'amélioration. Le programme SCORPION inclut aussi la mise en œuvre de TOHP (théâtres d'opération hybride partagés), dont l'objectif premier est la formation des échelons supérieurs de commandement. Grâce à la virtualisation d'une partie de l'exercice, les terrains militaires s'agrandissent et permettent le combat collaboratif en remplaçant l'environnement numérique d'entraînement par un jumeau numérique d'un compartiment du théâtre d'opérations reconstitué à partir d'une collecte de données réalisée par des drones plus ou moins en direct. Ainsi, cette copie deviendrait un formidable outils de préparation tactique à la mission ». Maëlys Naslin, Centre de doctrine et d'enseignement de commandement de l'Armée de Terre 03-2022.



Image 4D Editor-4D Virtualiz

# 5.

## L'IMPACT SUR L'EMPLOI, LES METIERS ET LES COMPETENCES

### 5.1. Cinq dimensions structurant les besoins en métiers et compétences liés au jumeau numérique

Les besoins en métiers et compétences liés au jumeau numérique peuvent être structurés en **cinq dimensions** :

- #1 : Le recours à des équipes-projets pluridisciplinaires associant des expertises « cœur de métier » à des compétences numériques, collaboratives et holistiques
- #2 : La gestion des systèmes complexes et du cycle de vie
- #3 : La transition énergétique et environnementale
- #4 : La structuration, l'interopérabilité et la sécurité des données
- #5 : La modélisation et la visualisation

Les fiches ci-après explicitent chaque dimension et présentent :

- ▶ Les **principaux métiers** concernés dans les référentiels OPIIEC, appuyés par des **chiffres-clés** issus de l'enquête BVA-Since&Co auprès des entreprises de la Branche ;
- ▶ Un ensemble de **compétences techniques, organisationnelles et comportementales** correspondant aux besoins du jumeau numérique sur chacune des dimensions, compétences issues de l'analyse des offres d'emploi « jumeau numérique ».

## #1 – LE RECOURS A DES EQUIPES-PROJETS PLURIDISCIPLINAIRES ASSOCIANT DES EXPERTISES « CŒUR DE METIER » A DES COMPETENCES NUMERIQUES, COLLABORATIVES ET HOLISTIQUES



### Le recours à des équipes-projets pluridisciplinaires

Les **ingénieurs** sont fortement mobilisés pour travailler de manière collaborative autour des projets de jumeau numérique. Il apparaît cependant qu'ils ne détiennent pas toutes les compétences utiles, notamment pour favoriser un travail mutualisant l'ensemble des ingénieries. En complémentarité des spécialités métier, des compétences informatiques sont attendues. Pour pallier le manque sur le marché de l'emploi, les entreprises sollicitent lors des recrutements **une appétence pour le numérique** plutôt qu'une maîtrise approfondie. Cela traduit aussi la volonté d'assurer une montée en compétences opérationnelle des ingénieurs, par l'acquisition de connaissances empiriques partagées dans le domaine du jumeau numérique. **Ainsi, les équipes projet « jumeau numérique » sont nécessairement pluridisciplinaires, avec des spécialistes-métiers qui interviennent lors d'étapes précises dans le processus de travail, tout en gardant une vision holistique du projet**, afin de faire part d'éventuels besoins ou risques du point de vue de leur spécialité-métier.

L'accélération de la mutation des emplois et le glissement des besoins en compétences dans le domaine de la **simulation numérique** amène à une ouverture de leurs compétences vers la transversalité. Par exemple, les ingénieurs en génie mécanique (GM) sont moins dédiés à la réalisation des calculs et analyses, parce que celles-ci sont de plus en plus automatisées (IA, machine learning), mais leur vision métier est attendue pour développer des outils qui assisteront les ingénieurs et des compétences en supervision. Ce glissement implique des besoins croissants d'ingénieurs en numérique (data, SI...), avec une plus forte attractivité de ces formations, aujourd'hui plus valorisées sur le marché du travail. Pour éviter le risque que cette filière se développe au détriment des autres filières (mécanique, nucléaire...), les compétences numériques sont à développer dans les formations initiales, tout en préservant les compétences « cœur de métier » indispensables au développement du jumeau numérique.

Les **compétences techniques** pour répondre à ces enjeux :

- Exploiter les concepts du jumeau numérique (JN) / physique (JP)
- Participer à la définition et à la réflexion de la stratégie d'innovation du jumeau numérique avec les experts
- Exploiter les échanges entre logiciels-métiers et favoriser l'interopérabilité
- Assurer l'interopérabilité des données entre les applications
- Réaliser l'ingénierie simultanée et s'assurer de la faisabilité technique sur son périmètre
- Développer des plateformes multi-métier pour la simulation d'un composant et de ses états ou pour la modélisation d'un process en prenant en compte des aspects/contraintes techniques de SI
- Cartographier en 3D l'ensemble d'un territoire pour de multiples usages : développement durable, gestion énergétique, urbanisme, sécurité, smart city, gestion des réseaux enterrés, tourisme etc.
- Intégrer des données d'acquisition (image/LiDAR) et multiplateforme (aérien/terrestre fixe et mobile), des données topographiques et thématiques multi-sources, multi-dimensionnelles et multi-échelles (pays, région, département, ville, quartier, rue, bâtiment)

42% des entreprises recrutent des chefs de projet et parmi les recrutements en cours, 13% concernent des ingénieurs d'études.



Le JN requiert des experts relevant du domaine des sciences de l'ingénieur, variables selon le secteur/domaine et le jumeau numérique développé : mécanique, électronique, matériaux, systèmes, génie civil, urbanisme, génie biomédical...

Le référentiel OPIIEC compte une diversité de métiers du numérique et de l'ingénierie qui, par leurs évolutions, pourraient favoriser l'appropriation de nouvelles compétences attendues pour faciliter la conception et l'utilisation des JN :

- Chef de projet
- Ingénieur d'études
- Roboticien / ingénieur en automatisation
- Spécialiste urbanisme
- Spécialiste sûreté de fonctionnement
- Géomètre
- Spécialiste en acoustique
- Spécialiste en ergonomie
- BIM Manager

- Créer et maintenir le jumeau numérique d'une usine, d'un système, d'un équipement et modéliser l'ensemble des modes de fonctionnement
- Réaliser la conception, la mise en place et la maintenance des solutions d'échange de données issues de l'Internet des Objets, utiles au jumeau numérique
- Assurer l'interface utilisateur des suites logicielles utilisées entre les services techniques, les fournisseurs et équipes de production pour conduire l'unité de production
- Veiller à ce que les solutions répondent aux besoins métiers en élaborant et en exécutant des plans de test et évaluer et réceptionner les solutions logicielles
- Définir des informations nécessaires au déploiement du jumeau numérique et ses limites
- Définir et créer des scénarios green/lean/risques grâce au jumeau numérique
- Immerger un jumeau numérique dans une reconstitution - Ex. : un médecin (Jumeau Physique du Médecin) face à un patient virtuel (Jumeau Numérique du Patient)
- Exercer une veille technologique dans le domaine concerné pour faire progresser les capacités de l'équipe en utilisant de nouvelles méthodes, technologies et outils logiciels

Les **compétences organisationnelles** attendues pour engager les équipes autour du projet :

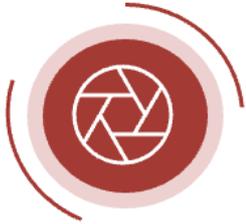
- Gérer et promouvoir le multiculturalisme autour d'un projet de jumeau numérique
- Encadrer des ingénieurs dédiés à ce projet et détecter la possibilité de réaliser des publications scientifiques
- Détecter et assurer le recrutement de nouveaux membres, ayant des profils atypiques
- Accompagner le déploiement des projets
- Piloter la performance globale (maîtrise des coûts, consommations...)
- Identifier les besoins de capacité supplémentaires à installer et les budgets d'investissements associés à prévoir
- Maintenir des données de qualité et administrer les solutions digitales
- Gérer le budget prévisionnel des expérimentations en lien avec le jumeau numérique et ses applications
- Gérer et coordonner des projets d'envergure intégrant des concepts complexes
- Mettre en place des outils facilitant le pilotage opérationnel
- Identifier et mobiliser les intervenants
- Gérer un projet complexe
- Piloter des intervenants externes affectés à la l'expérimentation puis à la réalisation
- Analyser, challenger et fédérer les personnes autour d'un même projet
- Développer une vision transverse des applications de l'entreprise
- Travailler de façon transverse dans un contexte multiculturel impliquant des interactions fonctionnelles diverses
- S'assurer du transfert technologique des résultats du projet vers les membres industriels
- Appliquer et respecter les normes inhérentes aux divers sujets que traite le jumeau numérique
- Satisfaire les exigences normatives en trouvant les meilleurs compromis
- Piloter le respect du cadre juridique lié aux données (cloud act, IA Act, souveraineté de la donnée, RGPD)
- Gérer la sécurité des équipements et systèmes
- Mettre à jour la documentation technique

Les **compétences comportementales** pour favoriser l'interaction entre les spécialistes métier :

- Développer une vision holistique et systémique (besoins, usages, organisation...)
- Animer une démarche agile et innovante
- Conseiller, cadrer, accompagner, épauler la mise en œuvre des travaux des différentes équipes techniques
- Travailler en autonomie
- Faire preuve de rigueur et de curiosité intellectuelle pour mieux communiquer
- Partager les bonnes pratiques entre les contributeurs du projet
- S'engager dans une dynamique visant l'atteinte de résultats, collectivement
- Accompagner la gestion du changement lors de l'introduction de nouvelles méthodes de travail
- Développer une forte capacité d'analyse et de synthèse
- Transmettre un savoir, une technique, une compétence sur des notions complexes
- Former et communiquer aux autres membres du bureau d'études la manière d'utiliser le modèle de jumeau
- Animer et coordonner un programme de jumeau numérique et les projets qui en découlent, en lien avec les centres de recherche
- Travailler dans un environnement exigeant demandant une forte réactivité et adaptation
- Être force de proposition et d'innovation
- Répondre aux sollicitations de ses interlocuteurs en tenant compte des spécificités métier
- Aborder des problématiques sous plusieurs angles et avoir une approche exhaustive pour trouver les solutions
- S'adapter aux métiers de l'entreprise

## #2 LA GESTION DES SYSTEMES COMPLEXES ET DU CYCLE DE VIE

Le jumeau numérique permet de répondre à l'analyse d'environnements complexes (équipements, systèmes, produit, corps humain, situations...). Pour cela, et quel que soit l'environnement pour lequel il est créé, le jumeau numérique requiert une véritable anticipation des besoins, avec une phase de préconception très aboutie (traduction des usages, définition des données, évolutions du JN...), qui s'inscrit dans une analyse du cycle de vie (ACV) propre à l'objet dont il est la représentation virtuelle. La deuxième tendance a donc trait aux compétences relatives à la gestion de systèmes complexes et à l'analyse du cycle de vie du JN et des objets rapportés.



### Les systèmes complexes et le cycle de vie

Le JN traitant l'**analyse de systèmes complexes**, il requiert une **vision systémique** tout au long du cycle de vie du projet. La multidisciplinarité et le multiculturalisme liés aux métiers, constituent des conditions favorables à l'approche holistique que les entreprises sollicitent de la part des candidats. Par ailleurs, le JN s'inscrit dans un **continuum d'information** qui alimente le projet en phases conception et exploitation. L'innovation, la recherche et développement associées à ces projets, suggèrent un mode de gestion de projet spécifique : à la fois **transversal, collaboratif et itératif, il appelle des compétences sur le « savoir travailler ensemble »** indispensables, pour chacun des métiers qui constituent la chaîne de valeur du JN.

La **gestion du cycle de vie**, via le jumeau numérique, fait appel à des compétences transversales qui apparaissent comme prédominantes, quels que soient les métiers mobilisés autour des projets. L'ACV (analyse du cycle de vie) permet de traiter les **process et méthodes de différents secteurs/domaines** : grâce aux technologies et méthodes associées, le PLM (Product life cycle management), le BIM (Building information modeling), le CIM (City information modeling), le lean management, la supply chain, le management de la qualité, sont autant de compétences mobilisées pour satisfaire aux enjeux et la finalité du JN.

Les **compétences techniques** pour répondre à ces enjeux :

- Eco concevoir un projet/produit/système, en ayant une démarche ascendante dans l'intégration du besoin, des usages, de la recyclabilité des composants
- Promouvoir au sein de l'équipe une démarche d'éco conception
- Intégrer le PLM (Product Lifecycle management) dans la production du jumeau numérique et dans les objets qu'il représente
- Analyser les risques, apporter une expertise ciblée sur les besoins de chaque secteur,
- Évaluer des impacts green/lean/risque grâce au jumeau numérique
- Participer à la détection des idées de projets d'innovations collaboratives
- Exploiter les échanges entre logiciels-métiers et favoriser l'interopérabilité à court, moyen et long terme
- Mettre à disposition le jumeau numérique au sein des équipes internes pour répondre au besoin d'informations liées aux produits, aux usages et au cycle de vie
- Immerger un jumeau numérique dans une reconstitution (ex.un médecin (Jumeau Physique du Médecin) face à un patient virtuel (Jumeau Numérique du Patient))
- Etablir une veille technologique permanente en interne et en externe sur l'organisation des moyens de production dans le cadre de l'Industrie 4.0.
- Exercer une veille technologique dans le domaine concerné pour faire progresser les capacités de l'équipe en utilisant de nouvelles méthodes, technologies et outils logiciels

La vision systémique constitue la compétence n°1 attendue par les employeurs pour travailler sur le jumeau numérique.



Le cycle de vie du produit/système/projet constitue un élément fondamental du JN : il accompagne l'aide à la décision du client et permet une gestion optimisée selon un contexte/environnement défini.

Le référentiel OPIEC, compte une diversité de métier du numérique et de l'ingénierie, qui par leurs évolutions pourraient favoriser l'appropriation de nouvelles compétences attendues pour faciliter la conception et l'utilisation des JN.

- AMO-Programmist
- Data scientist (ingé)
- Spécialiste méthode et industrialisation
- Ingénieur procédé
- Economiste de la construction
- Spécialiste exploitation maintenance
- Spécialiste test et validation

**Les compétences organisationnelles :**

- Piloter la performance globale (maîtrise des coûts, consommations...)
- Développer une vision transverse des applications de l'entreprise
- Optimiser les développements pour améliorer les performances numériques
- Participer à l'amélioration continue des performances d'un système : analyser les pertes de capacité, les délais, les dysfonctionnements avec les équipes IT
- Participer à la capitalisation sur les travaux produits durant ou en fin de projet
- Analyser les retours d'expérience, rétrospectives et réflexions sur les évolutions de la stratégie produit
- Gérer les processus pour garantir la qualité d'intégration des données au sein des systèmes d'information
- Maintenir des données de qualité pour administrer les solutions digitales
- Mettre en place des outils facilitant le pilotage opérationnel
- Gérer un projet complexe
- S'assurer du transfert technologique des résultats du projet vers les membres industriels

**Les compétences comportementales :**

- Développer une vision holistique et systémique (besoins, usages, organisation...)
- Seconder la direction dans le dialogue avec les maitrises d'ouvrage et avoir une posture de consultant
- Contribuer à la vie d'un projet et favoriser les vues métiers
- Assurer la gestion de la relation client dans toutes ses étapes
- Mener des concertations et des négociations avec les parties prenantes
- Accompagner la gestion du changement lors de l'introduction de nouvelles méthodes de travail ou de nouvelles solutions logicielles ou matérielles
- Communiquer sur les évolutions, les dysfonctionnements et accompagner le changement auprès des utilisateurs
- Développer une forte capacité d'analyse et de synthèse
- Développer sa créativité et son sens de l'innovation
- Travailler dans un environnement exigeant demandant une forte réactivité et adaptation
- Aborder des problématiques sous plusieurs angles et avoir une approche exhaustive
- Travailler en équipe et avec des interlocuteurs aux profils variés

### #3 LA TRANSITION ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

Une des finalités principales d'usage du jumeau numérique concerne la transition énergétique et environnementale. Au travers de certains cas d'usage, le jumeau numérique vise à rationaliser l'énergie et les ressources consacrées à la production et l'exploitation de systèmes, produits ou équipements, et à réduire leur impact environnemental (**IT for GREEN**). Le développement d'un jumeau numérique doit s'accompagner d'une démarche de sobriété numérique pour limiter l'empreinte environnementale des outils développés et des données mobilisées (**GREEN IT**).



## La transition énergétique et environnementale

Les entreprises mobilisent de nouveaux métiers du référentiel OPIIEC pour répondre aux cas d'usage des jumeaux numériques visant la **simulation et la réduction de la consommation énergétique et des impacts environnementaux** (usines, bâtiments, villes, transport...). Les équipes 'jumeau numérique' intègrent ainsi des **spécialistes en environnement, écologie et développement durable**, qui vont apporter leurs compétences en matière de référentiels, normes et méthodologies : écoconception, calculs de consommation énergétique et d'impact carbone... Des compétences en **accompagnement du changement** sont aussi requises pour favoriser l'intégration des **pratiques de sobriété numérique** dans le développement du jumeau numérique.

La transition énergétique et environnementale constitue un **levier d'attractivité** des métiers de l'ingénierie et du numérique.

**22%** des entreprises sont concernées par le recrutement d'un ingénieur spécialisé en environnement, écologie et développement durable

Les **compétences techniques** pour répondre à ces enjeux :

- Rationaliser les données utiles au projet de conception, modélisation et maintenance du jumeau numérique
- Déployer la sobriété numérique (éco-conception, sobriété de la donnée, stockage...)
- Contribuer à la mise en place de solutions permettant de réduire l'empreinte carbone de l'industrie
- Analyser des phénomènes liés aux changements environnementaux et leurs impacts, grâce au jumeau numérique
- Définir et analyser les impacts environnementaux (déchets, consommations, ressources...)
- Eco concevoir un projet/produit/système, en ayant une démarche ascendante dans l'intégration du besoin, des usages, de la recyclabilité des composants
- Prendre en compte les normes environnementales en vigueur
- Promouvoir au sein de l'équipe une démarche d'éco conception

Les **compétences organisationnelles** attendues :

- Piloter la performance globale (maîtrise des coûts, consommations...)
- Gérer et coordonner des projets d'envergure intégrant des concepts complexes
- Travailler de façon transverse dans un contexte multiculturel impliquant des interactions fonctionnelles diverses
- S'assurer du transfert technologique des résultats du projet vers les membres industriels
- Optimiser les développements pour améliorer les performances numériques et techniques
- Favoriser l'optimisation de la production (process, logistique, appro...)
- Gérer les projets d'amélioration continue tout en assurant l'interface avec les services informatiques



Le référentiel des métiers de l'OPIIEC compte plusieurs métiers pouvant amener une expertise liée à la transition énergétique et environnementale dans les équipes « jumeau numérique » :

- Spécialiste environnement, écologie et développement durable
- Spécialiste hygiène, sécurité, environnement
- Spécialiste démantèlement/déconstruction / dépollution

- Participer à l'amélioration continue des performances d'un système : analyser les pertes de capacité, les délais, les dysfonctionnements avec les équipes techniques
- Analyser les retours d'expérience, rétrospectives et réflexions sur les évolutions de la stratégie produit
- Gérer et promouvoir le multi culturalisme autour d'un projet de jumeau numérique
- Détecter et assurer le recrutement de nouveaux membres, ayant des profils atypiques

Les **compétences comportementales** :

- Construire une vision stratégique et une feuille de route digitale
- Être rigoureux et faire preuve de curiosité intellectuelle pour mieux communiquer
- Partager les bonnes pratiques entre les contributeurs du projet
- Être soucieux de l'atteinte de résultats, collectivement
- Mener des concertations et des négociations avec les parties prenantes
- Accompagner la gestion du changement lors de l'introduction de nouvelles méthodes de travail ou de nouvelles solutions logicielles ou matérielles en production
- Développer une forte capacité d'analyse et de synthèse
- Être créatif(ve) et novateur(trice)
- Développer son leadership
- Animer une démarche agile et innovante

## #4 LA STRUCTURATION, L'INTEROPERABILITE ET LA SECURITE DES DONNEES



### Structuration, interopérabilité et sécurité des données

Les métiers du numérique sont directement concernés par l'accélération des usages digitaux via l'intégration des technologies innovantes dans les processus métier (IA, IoT, chat...). La conception de jumeaux numériques fait appel à un ensemble de métiers couvrant toutes les spécialités du numérique. Depuis la collecte, l'analyse et la gestion de la donnée qui va mobiliser à la fois les **data sciences et l'architecture fonctionnelle**, en passant par la sécurisation des accès, des structures réseaux et autres systèmes d'intrusion ou de menace qui mobilisent les métiers de **la conformité et de la cybersécurité**, le jumeau numérique nécessitent des infrastructures robustes permettant des flux de données rapides et interconnectés. De plus, **les projets de jumeaux numériques appellent également des chefs de projets et directeurs de projet bénéficiant d'une vision plus transversale et d'une ouverture sur l'ensemble des métiers**, de l'ingénierie notamment, et d'autres métiers plus sectoriels (mécanique, électronique, industriel, événementiel...). Enfin, les développeurs de l'édition logicielle doivent s'efforcer de maintenir un langage commun favorable à l'échange de données, **par l'intégration de standards d'échanges, dits interopérables**.

Les **compétences techniques** proposées pour répondre à ces enjeux :

- Collecter et acquérir des données, les traiter et les modéliser, en vue de constituer des jeux de données pour faire des tests et scenarios d'utilisation
- Intégrer les objets connectés et flux associés (IoT)
- Proposer les meilleures sources de données (big data) à exploiter et à intégrer dans le jumeau numérique
- Rédiger des spécifications fonctionnelles avec les équipes expertes métier
- Contribuer à l'architecture et les dossiers d'architectures technique et logicielle
- Assurer l'accompagnement au déploiement opérationnel du projet jumeau numérique réseau
- Élaborer les plans de test logiciels des nouvelles applications, qualifier de nouvelles fonctionnalités et tester des non-régressions
- Gérer les processus et les risques de cybersécurité
- Anticiper les risques cyber en mettant en place une charte utilisateur
- Analyser les risques, apporter une expertise ciblée sur les besoins de chaque secteur
- Mettre en application les méthodes de machine learning
- Rédiger les descriptions des idées / sujets IA
- Intégrer les outils IA/data science dans le jumeau numérique
- Réaliser la conception, la mise en place et la maintenance de solutions d'échange de données issues de l'Internet des Objets, utiles au jumeau numérique
- Exploiter des langages de programmation (python, sysml...)
- Exploiter les échanges entre logiciels-métiers et favoriser l'interopérabilité
- Assurer l'interopérabilité des données entre les applications
- Développer un outil de validation du jumeau numérique
- Développer un système de maintenance prédictive (bibliographie, développement d'algorithmes, essais et analyse de la base de données, développement d'un système-expert, etc.)

**42%** des entreprises recrutent des data-scientists et 36% des ingénieurs en machine learning/développeurs Big Data



Les métiers du numérique sont directement concernés par l'accélération des usages digitaux via l'intégration des technologies incrémentales dans les processus métier (IA, IoT...)

- Data scientist (num)**
- Data engineer
- Directeur de projet (num)
- Développeur
- Architecte IoT
- Spécialiste bases de données
- Architecte technique
- Spécialiste infrastructure
- Ingénieur machine learning
- Spécialiste blockchain
- Analyste de la menace
- Spécialiste systèmes, réseaux et sécurité
- Responsable sécurité de l'information
- Data protection officer
- Spécialiste support
- Ingénieur intégration logicielle

- Réaliser et vérifier des calculs de mathématiques généraux ou appliqués
- Mettre à jour le jumeau numérique du process intégré dans le metavers
- Définir des informations nécessaires au déploiement du jumeau numérique et ses limites
- Analyser, synthétiser et rédiger à partir de documentation technique interne, externe et/ou de brevet
- Superviser des prestations de développement, de maintenance et participer à l'intégration et aux phases de tests (feedbacks)

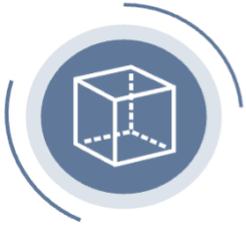
Les **compétences organisationnelles** attendues :

- Gérer les projets d'amélioration tout en assurant l'interface avec les services informatiques
- Participer à l'amélioration continue des performances d'un système : analyser les pertes de capacité, les délais, les dysfonctionnements avec les équipes IT
- Accompagner des audits et vérifier la conformité des solutions digitales au sein de votre périmètre
- Gérer les processus pour garantir la qualité d'intégration des données au sein des systèmes d'information
- Gérer et promouvoir le multi culturalisme autour
- Identifier les besoins supplémentaires et les budgets d'investissements associés à prévoir
- Maintenir des données de qualité et administrer les solutions digitales
- Appliquer et respecter les normes inhérentes aux divers sujets que traite le jumeau numérique
- Satisfaire les exigences normatives en trouvant les meilleurs compromis
- Piloter le respect du cadre juridique lié aux données (cloud act, IA Act, souveraineté de la donnée, RGPD)
- Gérer la sécurité des équipements et systèmes
- Réaliser des supports de communication (ex. Speechs d'interventions en salon)

Les **compétences comportementales** souhaitées :

- Construire une vision stratégique et une feuille de route digitale
- Développer une vision holistique et systémique (besoins, usages, organisation...)
- Travailler en autonomie
- Partager les bonnes pratiques entre les contributeurs du projet
- Assurer la gestion de la relation client dans toutes ses étapes
- Communiquer sur l'avancement du projet en interne
- Accompagner la gestion du changement lors de l'introduction de nouvelles méthodes de travail ou de nouvelles solutions logicielles ou matérielles
- Communiquer sur les évolutions, les dysfonctionnements et accompagner le changement auprès des utilisateurs
- Animer et coordonner un programme de jumeau numérique et les projets qui en découlent, en lien avec les centres de recherche
- Animer la collaboration de différentes équipes et assurer le lien entre les différentes entités du projet
- Travailler dans un environnement exigeant demandant une forte réactivité et adaptation
- Animer une démarche agile et innovante
- S'adapter aux métiers de l'entreprise

## #5 LA MODELISATION ET LA VISUALISATION



### Modélisation et visualisation

La modélisation constitue un enjeu central du jumeau numérique, car elle permet la représentation de l'existant et l'analyse précise des données, identifiées à partir des maquettes numériques. La conception mobilise des dessinateurs/projeteurs et intégrateurs-logiciels, aussi diversifiés que les besoins de modélisation existent. Par ailleurs, les technologies disponibles pour permettre la visualisation de l'objet réel en modèle numérique ne cessent de changer et de s'améliorer en termes de qualité d'image (proche du réel) d'informations associées, permises par des infrastructures fiables et performantes. Le jumeau numérique, le métavers et autres hologrammes sont des représentations virtuelles interactives, facilitant parfois l'imprégnation et la compréhension de la complexité du monde réel.

Les **compétences techniques** pour répondre à ces enjeux :

- Collecter et maintenir la librairie d'échantillons physiques / virtuels pour créer des visuels haut de gamme, générés par ordinateur
- Modéliser en 3D l'ensemble d'un territoire pour de multiples usages : développement durable, gestion énergétique, urbanisme, sécurité, smart city, gestion des réseaux enterrés, tourisme etc.
- Réaliser des études de capacité et/ou dimensionnement d'un système automatisé pour la mise en place d'aménagement
- Produire et intégrer une maquette numérique
- Modéliser directement dans une maquette numérique partagée
- Modéliser et concevoir un système, un équipement, un projet
- Suivre et assister virtuellement un élément du monde réel et envoyer instantanément des mises à jour d'instructions (ex. via un médecin virtuel : Jumeau Numérique du Médecin)
- Simuler dans l'immersion d'une situation reconstituée et à distance, via l'utilisation d'un dispositif de Réalité Virtuelle (RV)
- Proposer le développement d'une architecture logicielle permettant la connexion de plusieurs sites intégrant des dispositifs de RV/RA
- Contribuer au développement des méthodes et des outils pour la reconstruction et la visualisation interactive du jumeau numérique
- Contribuer techniquement aux développements de procédés en intégrant des technologies de réalité virtuelle, de réalité augmentée et d'intelligence artificielle
- Jouer avec la simulation et interagir via différents dispositifs (clavier, souris, casque de RV/RA, space mouse, etc)
- Exploiter les outils de datavisualisation
- Maquetter sans code (sous Figma par exemple)

Les **compétences organisationnelles** attendues :

- Assurer l'interface entre les utilisateurs finaux et l'équipe de développement de solutions
- Rédiger de rapports techniques sur les méthodes développées
- Développer une vision transverse des applications de l'entreprise

Même si la modélisation constitue un enjeu crucial pour les entreprises, elles ne sont qu'environ 15% à être concernées par le recrutement d'un BIM modelleur ou d'un infographiste.

Les métiers concernés par la modélisation et la visualisation, issus du référentiel OPIIEC sont :

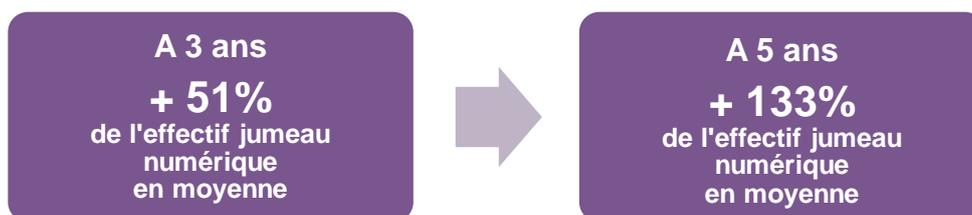
- BIM Modelleur
- UX-UI designer
- Web designer
- Dessinateur – projeteur
- Infographiste

Les **compétences comportementales** :

- Faire preuve de curiosité intellectuelle pour mieux communiquer et être rigoureux
- Se montrer à l'écoute de ses interlocuteurs (clients, collaborateurs etc.)
- Développer sa créativité et son sens de l'innovation
- Réaliser des formations internes sur le jumeau numérique

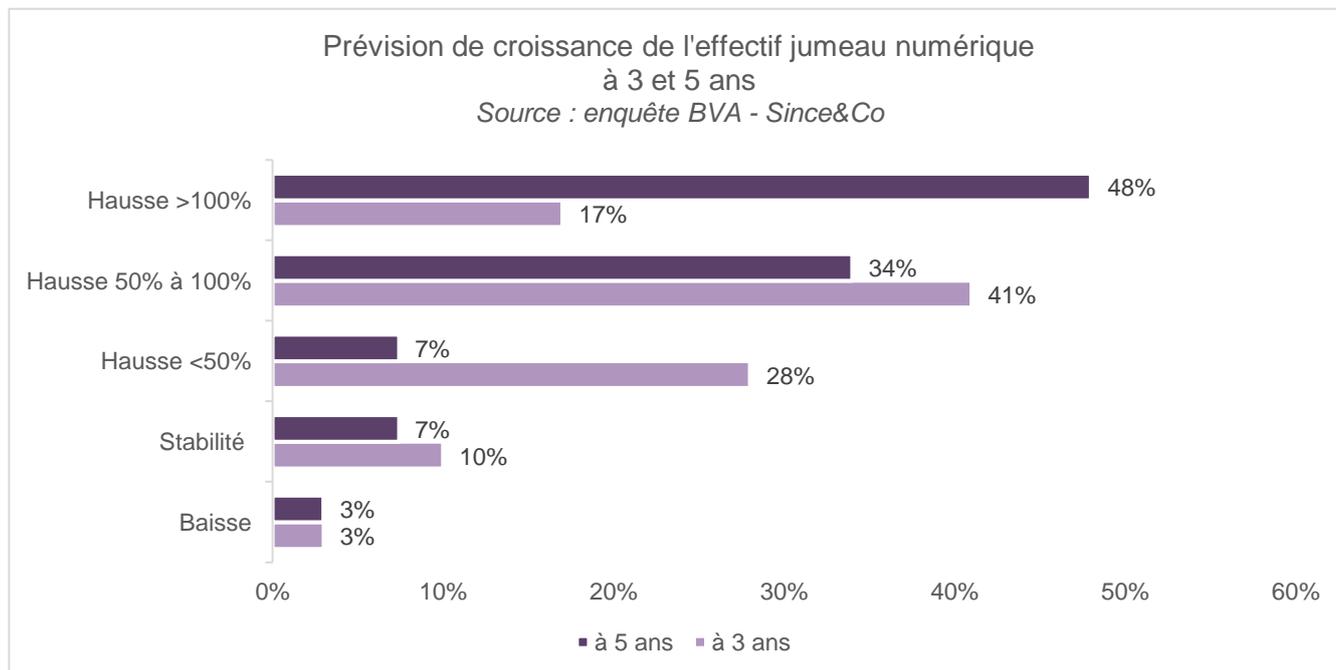
## 5.2 D'importants besoins de recrutements à 3-5 ans

En ligne avec la forte croissance anticipée à 3-5 ans, les entreprises déjà positionnées sur des projets de jumeau numérique projettent une **évolution très nette de leur effectif** sur cette activité :

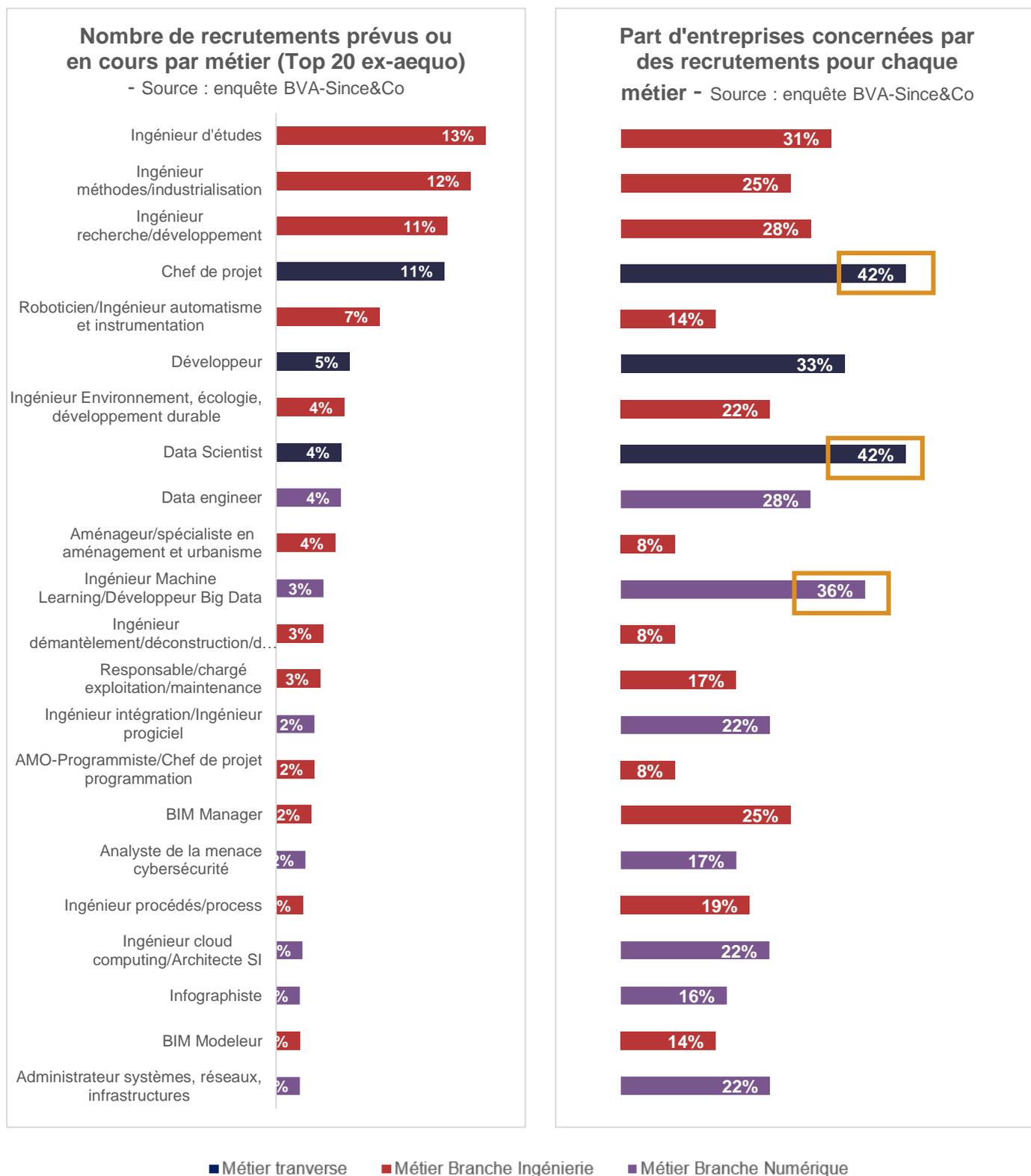


**A 3 ans, près de 6 entreprises sur 10** estiment que cet effectif va augmenter **au-delà de 50%** par rapport à leur effectif actuel sur cette activité.

**A 5 ans, la hausse de l'effectif se poursuit**, avec près d'1 entreprise sur 2 qui considèrent que l'effectif de leur activité « jumeau numérique » va au moins doubler.



## LES PRINCIPAUX METIERS RECRUTES



*Note de lecture : au sein des 31% d'entreprises concernées (graphique de droite) par le recrutement d'ingénieurs d'études, ce sont en tout 71 recrutements qui sont prévus ou en cours.*

Les principaux besoins en recrutement en volume se concentrent sur plusieurs métiers de l'ingénierie, dont un tiers sur seulement 3 spécialités : les ingénieurs d'études (71 postes projetés soit 12% des besoins), les ingénieurs méthode/industrialisation (11%) et les ingénieurs recherche/développement (10%). On retrouve ensuite plusieurs métiers transverses tels que les chefs de projet (10%) et les développeurs (4%). A l'inverse, on retrouve moins de métiers du numérique, le premier en volume de recrutement est data engineer (3%).

En termes de part d'entreprises concernées par des recrutements métiers, ce sont les postes de chefs de projet (42%), de Data Scientist (42%), et d'ingénieur Machine learning (36%) qui concernent le plus d'entreprises de la Branche.

Les métiers avec les principaux volumes de recrutement font tous face à des difficultés de recrutement parmi les entreprises de la Branche, avec des difficultés concernant de 30% à 60% des entreprises selon le métier. Il convient de noter que le métier transverse de chef de projet est un des plus difficiles à trouver avec 60% des entreprises concernées par ce type de recrutement en difficulté.

## LES PROJETS DE RECRUTEMENT

Une soixantaine d'offres d'emploi, alternance et stage ont été sélectionnées pour analyser les besoins des entreprises de l'ingénierie (I) ou du numérique (N) en matière de jumeau numérique.

| Ingénierie /Numérique | Appellation métier dans l'offre d'emploi  | Mission dédiée au jumeau numérique  |
|-----------------------|---|---|
| I                     | Docteur en ontologie  | Créer une ontologie autour du jumeau numérique  |
| I                     | Projeteur BIM   | Réalisation de maquettes BIM/DIM et participation à la mise en place de jumeaux numériques  |
| I                     | Ingénieur de recherche en développements numériques pour la modélisation de la ressource  | Développer des jumeaux numériques à l'échelle des bassins versants  |
| I                     | Ingénieur Recherche et Développement  | Être capable d'accompagner l'implémentation du jumeau numérique pour les processus de fabrication,  |
| I                     | Post-Doc Dimensionnement multi-échelle de Composites à Matrice Céramique par approche hybride modélisation numérique/machine learning | Par l'utilisation de jumeaux numériques virtuels ou issus d'imagerie 3D et par le recours à des techniques de machine learning (résolution d'éventuels calculs)   |
| I                     | Ingénieure/Ingénieur Industrie du futur 4.0   | Intégrer le « smart manufacturing »   |
| I                     | BIM Coordinateur / Coordinateur des activités BIM   | Soutenir le déploiement global du jumeau numérique sur l'ensemble des sites Airbus  |
| I                     | Ingénieur étude et recherche  | Projet « Jumeaux numériques d'une situation d'assistance médicale en milieux isolés par l'usage de la réalité mixte et des interactions tangibles augmentées » issu de l'appel R&T « Jumeau Numérique et Santé du Spationaute » du Centre National d'Études Spatiales   |
| I                     | Chef de Projet Jumeau Numérique - Marketing   | Participer à la définition et à la réflexion de la stratégie d'Innovation du Jumeau Numérique   |
| I                     | Infrastructure Logicielle et Développement des Jumeaux Environnementaux   | Dans le cadre du projet XXXX, l'objectif est de construire quatre jumeaux numériques sur les thèmes de la quantité d'eau en sous-sol, de la qualité de l'eau en sous-sol, de l'émission des gaz à effet de serre (GES) et de l'émission des polluants à effet sanitaire (PES) sur la zone géographique du bassin nord de la Loire |
| I                     | Ingénieur conception, consolidation et prototypage - jumeaux numériques   | Constitution d'un Jumeau Numérique National (JNN)   |
| I                     | Chargé.e de développement programme Jumeau Numérique  | Contribuer à la démocratisation et au déploiement des offres de services Jumeau numérique du groupe   |
| I                     | Alternant.e Master – Jumeau numérique du réseau   | Intervenir principalement sur le projet JN réseau, visant à numériser le réseau d'eau parisien pour adopter une politique patrimoniale fondée sur la donnée (apporter d'autres usages tels que la visite virtuelle des infrastructures, où la préparation des études)   |
| I                     | Responsable Intégration Jumeau Numérique  | Stimuler et accompagner la filière du bâtiment dans ses transitions énergétiques, numériques et écologiques, pour atteindre la neutralité carbone en 2050.  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| I | Data Analyste/ Contrôleur de Gestion  | Etre spécialisé dans l'ingénierie ou dans la conception de jumeaux numériques (système, organisation ou processus de production) idéalement dans l'industrie pétrolière et gazière   |
| I | Chargé du développement d'un jumeau numérique de procédés complexes                             | Développer un jumeau numérique de 2 procédés de vitrification, l'un à froid, l'autre en haute activité.  |
| I | Spécialiste Produit (F-H) – Gestion des Données - 3D Digital Twins                              | Responsable de tous les échantillons physiques / numériques et de la documentation requise pour créer des rendus de véhicules générés par ordinateur   |
| N | Data Scientist - Jumeaux Numériques   | Projet de machine learning dans le domaine du jumeau numérique qui aboutit à une mise en production et une utilisation du service par le client.   |
| N | Ingénieur Simulation Digital Twin   | Etudes actuelles sur le digital twin de payload télécom : définitions des solutions avec les experts des disciplines (thermique, électrique, ...), développement de ces solutions au sein de la discipline simulation, récupération/utilisation des données-satellites issues de l'AIT (Assemblage, Intégration, Test) ou de TéléMesures (TM) de satellites en opération.  |
| N | Responsable Jumeau numérique & metavers   | Thèse - Mettre en place une méthodologie permettant de créer le Jumeau numérique de nos ouvrages en incluant les données du BIM (forte liaison), ainsi que les possibilités offertes par le metavers : de la conception à l'utilisation, en passant par l'apprentissage et le déploiement.   |
| I | Mise en œuvre et validation d'un jumeau numérique pour une machine à haute exactitude de mesure | Thèse - Mise en œuvre et validation d'un jumeau numérique pour une machine à haute exactitude de mesure  |
| N | Ingénieur informatique - Jumeau numérique RV/RA   | Thèse – Création d'une plateforme pour simuler l'interaction des systèmes, pièces rigides et articulées ou déformable  |
| N | Ingénieur BIM DATA Manager - Jumeau Numérique 1D -2D - 3D                                       | Création d'un modèle de jumeau numérique d'une installation industrielle sous les logiciels XXXXX.   |
| N | Conception d'un jumeau numérique  | Concevoir un jumeau numérique d'un relais de protection XXXXXX : transférer tout le fonctionnel du produit dans une machine virtuelle, implémenter en logiciel toutes les fonctions assurées par des FPGA dans le calculateur réel et permettre de bridger les entrées/sorties réelles du calculateur sur un enregistreur de données (pour les sorties) ou un fichier de stimulation   |
| I | Ingénieur Supply Chain (Optimisation Digital Twin Supply Chain)                                 | Définition et création du jumeau digital d'une supply chain<br>Définition des informations nécessaires et des limites<br>Modélisation dans un outil<br>Définition et création des scenarios GREEN / LEAN / RISQUE<br>Variable impactée, limites / Impact jumeau numérique, limites<br>Définition et création des optimisations suite à scenario<br>Evaluation des impacts GREEN / LEAN / RISQUE<br>Création des cartes d'optimisation et évaluation du retour sur investissement |

Au travers des besoins formulés par les entreprises, il apparaît que les métiers de l'ingénierie sont clairement identifiés pour travailler sur des projets de jumeau numérique, alors que les métiers du numérique s'inscrivent plus dans une démarche globale et transversale, pour assurer la structuration technique du jumeau numérique à produire ou mettre en place les infrastructures réseaux pour garantir la fiabilité du système informatique. Parmi les offres d'emploi, on retrouve des métiers de la conception, de la gestion de projet, de la simulation, du BIM et de la supply chain, pour ce qui concerne l'ingénierie. Pour le numérique, on identifie l'ingénierie informatique, la data science, le développement de programme, la conception de process...

Lors de l'analyse de ces offres d'emploi, on remarque que la mutation des métiers s'accélère et que les compétences requises sont relatives à la maîtrise du contexte d'usage du jumeau numérique, à la maîtrise technique des composants du jumeau numérique ainsi qu'aux besoins en compétences comportementales et organisationnelles pour garantir une gestion de projet très ouverte et transversale. Cet ensemble de compétences admet une certaine exigence quant aux candidats ciblés et amènent souvent les employeurs à trouver des compromis par le recrutement de binômes, couvrant ensemble toutes les compétences attendues.

Enfin, on remarque que l'industrie utilise communément l'appellation « Digital twin manager/responsable/chef de projet », le secteur de la santé recrute sur des profils orientés recherche et développement, le secteur du bâtiment associe le jumeau numérique au BIM-GEM et aux données patrimoniales, ce qui rend la lecture pour les candidats plus complexe.

## LES PRINCIPALES RAISONS DES DIFFICULTES DE RECRUTEMENT



Les entreprises expliquent les différentes difficultés de recrutement rencontrées en premier lieu, et de loin, par le **manque de candidats expérimentés** (75%). Viennent ensuite les compétences inadaptées des candidats (46%) et le niveau de rémunération souhaité (38%). Ce constat résulte d'un besoin pour les entreprises de profils à la fois experts en leur domaine (automatisation, machine learning, connectivité...), ayant de solides connaissances sectorielles (dans l'industrie en particulier), ayant une compréhension des autres métiers partie-prenantes dans ce genre de projet, et capables de travailler et de penser la collaboration avec ces dits-métiers.

Il convient également de rappeler qu'une **concurrence intense** est à l'œuvre entre de nombreux secteurs d'activité (services aux entreprises, énergie, industrie, santé...) pour recruter des ingénieurs spécialistes de la donnée. Les entreprises de la Branche ont dès lors un **enjeu de visibilité** vis-à-vis des étudiants et des salariés sur le marché de l'emploi ou susceptibles de changer d'entreprise. Beaucoup d'entreprises du numérique et de l'ingénierie disent être en veille permanente sur les profils, pour parvenir à recruter à hauteur de leurs besoins.

## EN SYNTHÈSE : LES IMPACTS DU JUMEAU NUMERIQUE SUR LES METIERS DE L'INGENIERIE ET DU NUMERIQUE

Au final, le rapprochement du référentiel OPIIEC des métiers de l'ingénierie et du numérique avec les besoins en emploi et compétences liés au jumeau numérique permet de dégager :

-  **Des métiers émergents** : spécialiste en environnement, spécialiste en géomatique et spécialiste jumeau numérique
-  **Des métiers en transformation** du fait des nouvelles compétences techniques (T), organisationnelles (O) et/ou comportementales (C) requises par le jumeau numérique : chef de projet, métiers spécifiques à l'ingénierie (AMO-programmiste, BIM modelleur, spécialiste R&D, spécialiste méthodes et industrialisation...) ou au numérique (architecte IoT, UX-UI designer, webdesigner/infographiste...)
-  **Des métiers en tension** pour lesquels les entreprises de la Branche rencontrent d'importantes difficultés à recruter.
-  **Des métiers pour lesquels d'autres appellations** que celles du référentiel OPIIEC peuvent être utilisées dans le contexte du jumeau numérique.

Les métiers impactés sont identifiés dans les tableaux ci-dessous :

| Secteur    | Famille de métier                                | Tendances métiers | Intitulé métier                                     | Compétences      |                    |            |
|------------|--|-------------------|---|------------------|--------------------|------------|
|            |  |                   |   | Comportementales | Organisationnelles | Techniques |
| INGENIERIE | Direction d'entreprise et développement          |                   | Directeur centre de profit - Business unit          | X                | X                  |            |
| INGENIERIE | Direction d'entreprise et développement          |                   | Directeur commercial                                |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Pilotage de projet                               | !                 | AMO-Programmist                                     | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Pilotage de projet                               | ! ⚡ ⚡             | <b>Chef de projet</b>                               | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Pilotage de projet                               | ⚡                 | <b>Directeur de projet</b>                          |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    | ! i               | <b>BIM Modeleur</b>                                 |                  |                    | X          |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    | ⚡ i               | <b>Data Scientist</b>                               | X                |                    | X          |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    | !                 | <b>Dessinateur – Projeteur</b>                      | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    |                   | Economiste de la construction                       |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    |                   | Spécialiste en ergonomie                            |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    |                   | Spécialiste en acoustique                           |                  |                    | X          |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    | ⚡ i               | Ingénieurs procédés                                 | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    | ! ⚡ ⚡             | <b>Spécialiste R&amp;D</b>                          | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    | ⚡ i               | <b>Spécialiste ingénierie et étude</b>              | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Etude et conception de projet                    | +                 | <b>Spécialiste jumeau numérique</b>                 | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Mise en œuvre et réalisation du projet           |                   | Architecte IoT                                      |                  | X                  | X          |
| INGENIERIE | Mise en œuvre et réalisation du projet           |                   | Conducteur de travaux                               |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Mise en œuvre et réalisation du projet           |                   | Directeur de travaux                                |                  | X                  |            |
| INGENIERIE | Mise en œuvre et réalisation du projet           |                   | Géomètre  |                  |                    | X          |
| INGENIERIE | Mise en œuvre et réalisation du projet           |                   | Spécialiste en certification                        |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Mise en œuvre et réalisation du projet           | ! ⚡               | Spécialiste méthodes et industrialisation           | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Mise en œuvre et réalisation du projet           |                   | Spécialiste tests et essais                         | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Mise en œuvre et réalisation du projet           | +                 | <b>Spécialiste jumeau numérique</b>                 | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           | ⚡ i               | <b>BIM Manager</b>                                  | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           |                   | BIM Coordinateur                                    | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           |                   | Contract manager                                    |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           |                   | Coordonnateur SPS                                   |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           | ! ⚡               | <b>Spécialiste en environnement et biodiversité</b> | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           |                   | Planificateur - OPC                                 |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           |                   | Spécialiste sécurité, hygiène, environnement        |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           |                   | Risk manager  | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           | +                 | Spécialiste en géomatique                           |                  |                    | X          |
| INGENIERIE | Coordination de projet                           | ! ⚡ i             | Spécialiste robotique et automatisation             | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet |                   | Auditeur  |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet |                   | Contrôleur technique et surveillance                |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet |                   | Inspecteur  |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet |                   | Responsable de laboratoire                          |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet |                   | Spécialiste commissioning                           |                  | X                  | X          |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet | !                 | <b>Spécialiste exploitation - maintenance</b>       | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet | ! +               | <b>Spécialiste déconstruction - dépollution</b>     | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet | ! ⚡ i             | Spécialiste en aménagement et urbanisme             | X                | X                  | X          |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet |                   | Technicien de laboratoire                           |                  |                    |            |
| INGENIERIE | Exploitation, contrôle et durée de vie du projet | !                 | Spécialiste - Ingénieur sûreté de fonctionnement    | X                | X                  | X          |

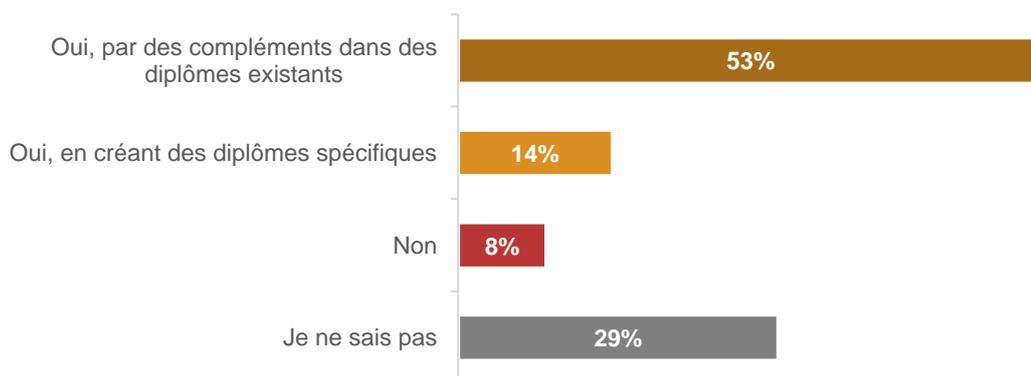
| Secteur   | Familles de métier                                | Tendances métiers | Intitulé métier                           | Compétences      |                    |            |
|-----------|---|-------------------|---|------------------|--------------------|------------|
|           |   |                   |   | Comportementales | Organisationnelles | Techniques |
| NUMERIQUE | Direction d'entreprise et développement           |                   | Directeur commercial                      |                  |                    |            |
| NUMERIQUE | Direction d'entreprise et développement           |                   | Directeur de Business Unit                | X                | X                  |            |
| NUMERIQUE | Direction d'entreprise et développement           |                   | Responsable partenariats                  |                  |                    |            |
| NUMERIQUE | Support commercial et marketing                   |                   | Chef de produit - services                |                  |                    |            |
| NUMERIQUE | Support commercial et marketing                   |                   | Consultant avant-vente                    |                  |                    |            |
| NUMERIQUE | Support commercial et marketing                   |                   | Formateur                                 | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Support commercial et marketing                   |                   | Technico-commercial                       |                  |                    |            |
| NUMERIQUE | Pilotage de projet                                | 1 4               | <b>Chef de projet JN</b>                  | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Pilotage de projet                                |                   | Coordinateur de projet                    |                  |                    |            |
| NUMERIQUE | Pilotage de projet                                |                   | <b>Directeur de projet</b>                | X                | X                  |            |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         | 1                 | Architecte IoT                            | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         |                   | Consultant architecte technique           | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         | 4                 | Data Engineer                             | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         |                   | Data Protection Officer                   | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         | 4 1               | <b>Data Scientist</b>                     | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         |                   | Spécialiste blockchain                    |                  | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         | 1 4               | <b>UX - UI Designer</b>                   | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         | 1                 | <b>Webdesigner</b>                        | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Architecture et conception de la solution         | +                 | <b>Spécialiste jumeau numérique</b>       | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Développement et test de la solution              | 1                 | Analyste de la menace                     | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Développement et test de la solution              | 1 4               | <b>Développeur</b>                        | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Développement et test de la solution              | 4                 | <b>Ingénieur Machine Learning</b>         | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Développement et test de la solution              | 4                 | Intégrateur logiciels métiers             | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Développement et test de la solution              |                   | Pentesteur                                | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Développement et test de la solution              | 1                 | Spécialiste test et validation            | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Mise en production et exploitation de la solution |                   | Spécialiste bases de données              | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Mise en production et exploitation de la solution |                   | Spécialiste infrastructure                | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Mise en production et exploitation de la solution | 1                 | Spécialiste systèmes, réseaux et sécurité | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Mise en production et exploitation de la solution |                   | Analyste SOC                              | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Mise en production et exploitation de la solution |                   | Conseiller support technique              | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Mise en production et exploitation de la solution | +                 | Spécialiste en géomatique                 | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Mise en production et exploitation de la solution | 4                 | Responsable Sécurité de l'information     | X                | X                  | X          |
| NUMERIQUE | Mise en production et exploitation de la solution |                   | Spécialiste support                       | X                | X                  | X          |

### 5.3 Un effort de formation continue et des attentes de compléments dans les diplômes existants

La diversité des métiers et compétences mobilisés par le jumeau numérique amène la majorité des entreprises de la Branche à souhaiter que **des compléments soient apportés à des diplômes existants** (53% des entreprises), plutôt qu'à appeler à la création de diplômes spécifiques au jumeau numérique (14%).

### Nécessité de développer des formations initiales en lien avec le jumeau numérique

Source : Enquête BVA/Since&Co



Concernant la **formation continue**, les salariés se forment au jumeau numérique **principalement en interne** (67%) ou en **autoformation** (56%), un peu plus qu'en externe (48%). A l'heure actuelle, **32% des formations continues** qui sont suivies **sont certifiantes**.

Les entreprises attendent **des formations spécifiques** à leur secteur d'activité (59%) ou, dans une moindre mesure, **généralistes** (48%). Un quart d'entre elles (26%) souhaiterait que ces formations soient **certifiantes**. Elles expriment le souhait de formations en **gestion de projet, Intelligence artificielle, modélisation...**

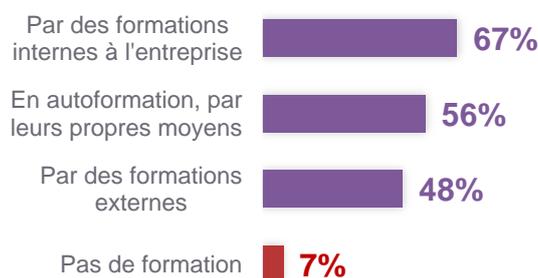
Sur certains domaines de compétences spécifiques comme la **cybersécurité**, **certaines entreprises préfèrent avoir recours à des prestataires ou co-traitants plutôt que recruter des salariés** n'ayant pas toutes les compétences requises et nécessitant un parcours de formation interne plus ou moins long. Elles reconnaissent ainsi que les formations initiales ne sont pas toujours suffisantes pour pouvoir travailler sur ce type de projet.

Plus globalement, **les entreprises interrogées ne s'identifient pas toujours au jumeau numérique** en tant que tel mais parfois à des technologies connexes, **ce qui explique leur réticence vis-à-vis de diplômes spécifiques au jumeau numérique**. Les entreprises insistent sur la **maîtrise de compétences essentielles** (IA, modélisation, code, informatique industrielle...) pour pouvoir comprendre les contraintes propres au jumeau numérique et avoir la capacité de **décloisonner les savoirs et les compétences** (de les rendre hybrides), prérequis nécessaire à tout développement de jumeau numérique. Quel que soit le secteur d'activité, **ils ont besoin de professionnels qui ont eu à « travailler avec des données » mais aussi capables de faire de la programmation**. En effet, les compétences de programmation sont assez courantes sur le marché de l'emploi ingénieur aujourd'hui, mais la programmation adaptée à certains secteurs comme **l'industrie** est beaucoup moins attractive et fréquente. Côté formation initiale, les étudiants sont très orientés vers l'automatisation et moins vers l'informatique industrielle et la gestion des données. Beaucoup d'entre eux en ce moment ont donc tendance à aller vers l'IA, très attractif.

Enfin, pour former aux compétences nécessaires au jumeau numérique, **l'alternance est mobilisée par près de la moitié des entreprises** (46%) et 1 sur 5 projette déjà de recruter des alternants l'année prochaine. Un recours plus large aux alternants est limité par la nécessité d'intégrer des **profils disposant déjà d'une expérience professionnelle** suffisante pour travailler en coordination avec les autres domaines de compétences. Pour les projets à forte dimension R&D, certaines entreprises ont recours à des **doctorants** dans le cadre de conventions industrielles de formation par la recherche-**CIFRE**.

### Mode de formation des salariés au jumeau numérique

Source : enquête BVA-Since&Co

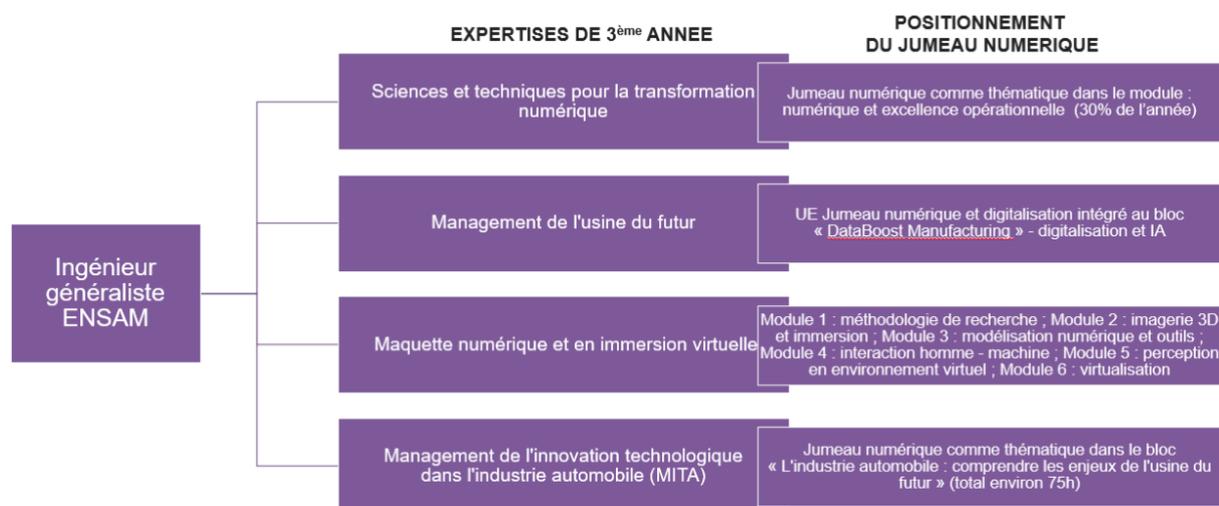


## 5.4 Un jumeau numérique encore émergent dans l'offre de formation initiale et continue

L'offre de formation initiale et continue susceptible de répondre aux besoins liés au jumeau numérique est **tout aussi large** que la palette des métiers et domaines de compétences de l'ingénierie et du numérique, requis par son développement dans les différents secteurs d'application (industrie, bâtiment, santé...). Dès lors, il apparaît intéressant d'évaluer si le **jumeau numérique** apparaît explicitement dans les programmes de formation, avec quel positionnement et quels apports.

Le premier enseignement est que le jumeau numérique reste **très émergent** dans l'offre de formation. L'analyse a recensé **une trentaine de formations**, principalement **initiales**, mentionnant le jumeau numérique dans ses programmes. Le deuxième constat est que ces formations relèvent majoritairement **d'écoles d'ingénieurs** (CNAM, ECAM Rennes, ENSAM, ESILV, ESTP, IMT Atlantique, Mines Saint Etienne-Institut Mines Telecom, Université catholique de l'Ouest...) proposant des **spécialités de 3<sup>ème</sup> année** intégrant des UE ou modules liés au jumeau numérique. Plusieurs formations répondent au principal besoin exprimé par les entreprises de la Branche, à savoir **l'intégration d'un ensemble de connaissances et compétences numériques dans les cursus d'ingénieur** en complément de leur domaine de prédilection (génie mécanique, génie électrique, génie civil...).

Ainsi, **l'Ecole nationale supérieure des arts et métiers (ENSAM)** souhaitant « *préparer les étudiants, futurs techniciens et managers, aux enjeux technologiques, humains, organisationnels et sociétaux de la transformation numérique* » a intégré le jumeau numérique dans **quatre expertises** pouvant être choisies par les ingénieurs généralistes en troisième année d'école.



Concernant les **masters en informatique**, le **parcours « Cyber-physical and social systems (IA et IoT) »** du master proposé par l'école des Mines de Saint Etienne et l'institut Mines Télécom illustre, de manière particulièrement ciblée, une formation visant l'apprentissage des différentes technologies et méthodes nécessaires à la conception de systèmes cyber-physiques intelligents tels que les jumeaux numériques.

**Formation : Master informatique parcours Cyber-physical and social systems (IA et IoT)**

|  |   |
|--|---|
| Établissement<br><input type="checkbox"/> Mines Saint-Étienne – Institut Mines<br>Télécom, opéré conjointement par<br>Université de Lyon et Université Jean<br>Monnet de Saint-Étienne | Cette formation correspond à un <b>master en informatique</b> , qui a<br>pour objectif de :<br><br><i>« Fournir aux étudiants une triple expertise sur les<br/>           technologies et les méthodes pour concevoir et intégrer des<br/>           systèmes cyberphysiques intelligents, interfaçant les<br/>           dimensions physiques, sociales et numériques de nos<br/>           environnements »</i> |
| Statut de l'organisme<br><input type="checkbox"/> Public   |   |
| Durée de la formation<br><input type="checkbox"/> 2 ans – 120 ECTS   |   |
| Volume horaire Jumeau Numérique et<br>concepts associés<br><input type="checkbox"/> UE 30 heures – 4 ECTS  | Positionnement du jumeau numérique dans la formation<br>▶ L'enseignement correspond à une UE intitulée « Digital<br>Twins ».<br>▶ L'UE a été intégrée à la maquette de la deuxième année du<br>master il y a 2 ans.   |
| Niveau du diplôme<br><input type="checkbox"/> Bac + 5  |   |
| Langue<br><input type="checkbox"/> Anglais   | Domaines de formation<br>▶ Internet des objets, applications Web et mobiles,<br>intelligence artificielle, infrastructures Cloud et Edge,<br>cybersécurité...   |
| Modalité de formation<br><input type="checkbox"/> Formation initiale   |   |
| Localisation<br><input type="checkbox"/> Auvergne - Rhône-Alpes  | Domaines d'application<br>▶ Industrie 4.0, bâtiment, santé, transport, énergie et<br>environnement.   |

L'offre de formation compte aussi **quelques formations certifiantes de niveau Bac +3** intégrant une composante jumeau numérique dans leur cursus. C'est notamment le cas de la licence professionnelle « **Sciences, technologies, santé mention Métiers de l'industrie : conception et amélioration de processus et procédés industriels - Parcours Industrie du futur** » proposé par le Conservatoire national des arts et métiers (CNAM) et du **BUT Génie Mécanique et Productique**, comportant un parcours « Simulation numérique et réalité virtuelle » dispensé par plusieurs IUT, détaillé ci-dessous.

**Formation : BUT Génie Mécanique et Productique, parcours Simulation numérique et réalité virtuelle**

## Établissements

- IUT Lyon 1, IUT Toulouse Figeac, URCA, IUT Rennes, IUT d'Aix-Marseille...

## Statut des organismes

- Public

## Durée de la formation

- 3 ans – 180 ECTS

## Volume horaire Jumeau Numérique &amp; concepts associés

- 17 ECTS

## Niveau du diplôme

- Bac + 3

## Langue

- Français

## Modalité de formation

- Formation initiale
- Formation continue
- Alternance

Dispensée par plusieurs IUT sur tout le territoire, cet enseignement vise à former des professionnels exerçant des missions de

« **Technicien supérieur dans le domaine mécanique, avec une préparation supplémentaire à la mise en œuvre des outils numériques de la simulation avancée, de la réalité virtuelle et augmentée jusqu'au jumeau numérique.** »

## Place du Jumeau Numérique dans la formation

▶ Les enseignements commencent à partir de la deuxième année du BUT dans le cadre du parcours « Simulation numérique et réalité virtuelle ».

## Domaines de formation

▶ Virtualisation, simulation multiphysique...

## Domaines d'application

▶ Industrie, bâtiment, transport, énergie...

Enfin, **quelques formations continues** visant un premier niveau d'acculturation au jumeau numérique dans l'industrie ou le bâtiment sont proposés par des acteurs de la Branche et/ou des organismes de formation (Cap Gemini, Industreet, Openclassrooms/CESI, CSTB, CETIM en partenariat avec Siemens...).

Notons enfin que le **jumeau numérique et ses cas d'usages en matière d'enseignement** commence à apparaître dans le cadre de projets pédagogiques d'écoles. En témoigne le **projet JENII** (Jumeaux d'Enseignement Numériques Immersifs et Interactifs), qui a pour objectif le « **développement d'une offre de formations, via des environnements immersifs et collaboratifs, bâtis autour de jumeaux numériques de systèmes industriels réels** ».



- Projet bénéficiaire du plus important budget (**9,5 millions d'euros**) de l'appel à manifestations d'intérêt « Démonstrateurs Numériques dans l'Enseignement Supérieur » (DemoES), réalisé dans le cadre du **4e Programme d'investissements d'avenir (PIA)**, intégré dans le plan **France 2030** dans le but d'identifier et d'accompagner des établissements d'enseignement supérieur prêts à devenir des démonstrateurs de toutes les dimensions de la transformation numérique.
- Le projet est mené par un consortium de quatre membres : l'École nationale supérieure des arts et métiers (ENSAM), CEA Tech, le Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) et le Centre des études supérieures industrielles (CESI).
- L'ambition du projet est de concevoir un **outil de formation hybride ouvert**, qui puisse se diffuser à d'autres établissements.

# 6. PRECONISATIONS OPERATIONNELLES

Le développement de l'emploi et des compétences associées au jumeau numérique, technologie encore émergente, fait face à **3 principaux enjeux** auxquels les acteurs de la Branche peuvent contribuer par différentes actions.

## Enjeu n°1

Favoriser une compréhension partagée des usages du jumeau numérique, des métiers et des compétences mobilisées

- ↳ Piste d'action n° 1 – Communiquer auprès des entreprises de la Branche sur les besoins et synergies de compétences liés aux usages et au développement du jumeau numérique
- ↳ Piste d'action n°2 – Développer un cycle de webinaires ou contenus en ligne orientés « cas d'usage » : apports et REX du jumeau numérique selon les secteurs, usages environnementaux, interopérabilité, écoconception et sobriété numérique.
- ↳ Piste d'action n°3 – Sensibiliser les écoles et organismes de formation au besoin de formations développant les compétences comportementales : vision holistique et systémique, animation de démarches agiles et innovantes, autonomie, collaboration...

## Enjeu n°2

Réduire les tensions en matière de recrutement

- ↳ Piste d'action n°4 - Promouvoir les métiers et formations à destination des étudiants, lycéens et collégiens, ainsi que de salariés, en capitalisant sur l'attractivité des jumeaux numériques et de leurs usages
- ↳ Piste d'action n°5 – Favoriser le développement de l'alternance dans les domaines de formation liés au jumeau numérique (y compris master de recherche)
- ↳ Piste d'action n°6 - Evaluer la faisabilité pour l'OPCO ou la Branche d'accompagner les entreprises dans le recrutement et le développement de compétences en R&D

## Enjeu n°3

Accompagner la transformation collaborative des métiers

- ↳ Piste d'action n° 7 – Inscrire les métiers émergents ou en particulière évolution dans la liste de France Compétences
- ↳ Piste d'action n°8 – Favoriser l'intégration, dans les cursus d'ingénieurs, des compétences digitales, organisationnelles et comportementales en faveur du jumeau numérique
- ↳ Piste d'action n°9 – Favoriser le développement d'une licence professionnelle destinée à apporter des connaissances et compétences digitales à des diplômés de formation technique de niveau 6
- ↳ Piste d'action n°10 – Favoriser la formation de techniciens de niveau 5 ou 6 sensibilisés aux usages pertinents du jumeau numérique, disposant d'une culture en matière de data et de travail collaboratif
- ↳ Piste d'action n°11 – Enrichir et diffuser le référencement de l'offre de formations initiale et continue en faveur du jumeau numérique auprès des entreprises et salariés de la Branche
- ↳ Piste d'action N°12\_ – Intégrer les besoins en compétences liés au jumeau numérique dans le futur référentiel des métiers de l'OPIIEC
- ↳ Piste d'action N°13 – Développer des synergies avec d'autres OPCO, Branches ou fédérations concernées, pour accélérer la mise à disposition d'une offre de formation en faveur du jumeau numérique

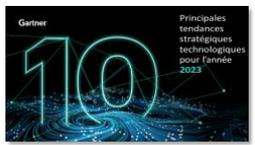
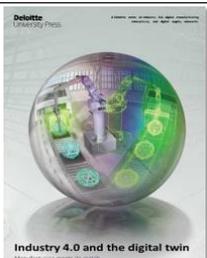
Le choix des actions à mener pourra être effectué en tenant compte de l'impact visé, de la facilité ou complexité de mise en œuvre, ainsi que des délais nécessaires à la préparation et la mise en œuvre des actions. Des actions de sensibilisation d'impact rapide pourront ainsi être combinées à des chantiers de plus long terme visant à l'intégration des compétences en faveur du jumeau numérique dans différents cursus de formation initiale.

| Piste d'action  |   | Impact visé   | Niveau de complexité  | Délai de préparation et mise en œuvre |      |      |           |
|---|---|---|---|---------------------------------------|------|------|-----------|
|   |   |   |   | 2024                                  | 2025 | 2026 | 2027-2028 |
| <b>Favoriser une compréhension partagée des usages du jumeau numérique, des métiers et des compétences mobilisées</b> |   |   |   |                                       |      |      |           |
| 1   | Communiquer auprès des entreprises de la Branche sur les besoins et synergies de compétences liés aux usages et au développement du jumeau numérique  | Sensibilisation des entreprises d'Ingénierie et Numérique à l'évolution des métiers, encouragement des synergies de compétences                             | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |
| 2   | Développer un cycle de webinaires ou de contenus en ligne orientés 'cas d'usage' : apports et REX du jumeau numérique selon les secteurs, usages environnementaux, interopérabilité, éco-conception et sobriété numérique | Compréhension des usages du JN, des enjeux d'interopérabilité et de transition énergétique et environnementale  | <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |
| 3   | Sensibiliser les écoles et organismes de formation (OF) au besoin de formations développant les compétences comportementales  | Création de nouvelles formations ou modules par les écoles et OF, identification d'opportunités de collaboration ou projets                                 | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |
| <b>Réduire les tensions en matière de recrutement</b>   |   |   |   |                                       |      |      |           |
| 4   | Promouvoir les métiers et formations à destination des étudiants, lycéens et collégiens, ainsi que de salariés, en capitalisant sur l'attractivité des jumeaux numériques et de leurs usages                              | Contribution à la croissance du nombre de diplômés, développement de l'attractivité de la Branche   | <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |
| 5   | Favoriser le développement de l'alternance dans les domaines de formation liés au jumeau numérique (y compris master de recherche)  | Hausse du nombre d'alternants et du nombre de recrutements à l'issue de l'alternance  | <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |
| 6   | Evaluer la faisabilité pour l'OPCO ou la Branche d'accompagner les entreprises dans le recrutement et le développement de compétences en R&D (CIFRE...)   | Mise à disposition d'une offre de soutien RH-Formation pour les activités R&D des entreprises d'ingénierie et de numérique                                  | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |
| <b>Accompagner la transformation collaborative des métiers en faveur du jumeau numérique</b>                          |   |   |   |                                       |      |      |           |
| 7   | Inscrire les métiers émergents ou en particulière évolution dans la liste de France Compétences   | Visibilité de ces métiers et accès à la procédure d'enregistrement dérogatoire de certifications de France compétences                                      | <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |
| 8   | Favoriser l'intégration, dans les cursus d'ingénieurs, des compétences digitales, organisationnelles et comportementales en faveur du jumeau numérique  | Développement de nouvelles compétences chez les ingénieurs, amélioration de la capacité à travailler dans des projets numériques complexes                  | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |
| 9   | Favoriser le développement d'une licence professionnelle destinée à apporter des connaissances et compétences digitales à des diplômés de formation technique de niveau 6   | Diversification des profils de recrutement, opportunité pour les techniciens d'intégrer des projets de jumeau numérique et d'évoluer ensuite vers un master | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> |                                       |      |      |           |

| Piste d'action | Impact visé  | Niveau de complexité  | Délai de préparation et mise en œuvre   |      |      |           |  |
|----------------|--|---|---|------|------|-----------|--|
|                |  |   | 2024  | 2025 | 2026 | 2027-2028 |  |
| 10             | Favoriser la formation de techniciens de niveau 5 ou 6 sensibilisés aux usages pertinents du jumeau numérique, disposant d'une culture en matière de data (interopérabilité...) et de travail collaboratif | Diversification des profils de recrutement, opportunité pour les techniciens d'intégrer des projets de jumeau numérique et d'évoluer ensuite vers un master | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> |      |      |           |  |
| 11             | Enrichir et diffuser le référencement de l'offre de formations initiale et continue en faveur du jumeau numérique auprès des entreprises et salariés de la Branche   | Amélioration de la visibilité et de l'accès à l'offre de formation en faveur du jumeau numérique  | <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |      |      |           |  |
| 12             | Intégrer les besoins en compétences liés au jumeau numérique dans le futur référentiel des métiers de l'OPIIEC   | Concrétisation des impacts métiers-compétences du jumeau numérique  | <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |      |      |           |  |
| 13             | Développer des synergies avec d'autres OPCO, Branches ou fédérations concernées, pour accélérer la mise à disposition d'une offre de formation en faveur du jumeau numérique                               | Optimisation des initiatives et moyens des acteurs, développement des opportunités de collaborations ou projets pour les entreprises                        | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> |      |      |           |  |

# ANNEXES



|   |  |                   |      |                     |  |
|---|--|-------------------|------|---------------------|--|
|    | Extrait d'étude Allied Market Research - Digital Twins   | Extrait d'étude   | 2022 | Monde               | Allied Market Research   |
|    | Extrait d'étude GMI - Digital Twins  | Extrait d'étude   | 2022 | Monde               | GMI  |
|    | Réalité virtuelle : comment l'industrie nucléaire se modernise   | Article           | 2021 | France              | the Conversation   |
|    | Hôpital : les « jumeaux numériques », un nouvel outil de simulation                                    | Article           | 2021 | France              | the Conversation   |
|   | Moteurs, aéronautique, nucléaire... : la simulation numérique pour l'industrie                         | Article           | 2017 | France              | the Conversation   |
|  | Deloitte.insights Aérospatiale et défense 4.0 : Capturer la valeur des technologies de l'industrie 4.0 | Article de revues | 2019 | Monde               | Deloitte.Development LLC<br>Robin Lineberger, Aijaz Hussain, Tim Hanley, Vincent Rutgers, and Brenna Spiderman |
|  | Gartner : Principales tendances stratégiques et technologiques pour l'année 2023                       | Article de revues | 2022 | Etats-Unis et Monde | Gartner<br>David goombridge (VP analyste)  |
|  | Deloitte.University Press Industry 4.0 and digital twin : Manufacturing meets is match                 | Article de revues | 2017 | Monde               | Deloitte.Development LLC<br>Siddharth Verma, Etienne Pailler, Henry Blum, and Puneet Bhargava, Brenna          |

| Visuel du doc   | Titre du document   | Type de document      | Année     | Zone géo   | Auteur(s)   |
|---|---|-----------------------|-----------|------------|---|
|    | Comment les jumeaux numériques pourraient protéger les fabricants des cyberattaques   | Article               | 2023      | Monde      | EC Balta, M. Pease, J. Moyne, K. Barton et DM Tilbury |
|   | H²M Technologies : solutions complètes en process de conditionnement<br>Optimiser l'étude et la fabrication de machines grâce au jumeau numérique | Publicommu<br>niqué   | 2023      | France     | Alain Herraux   |
|    | Ansys<br>Digital twins : Make the vision achievable   | Article de revues     | 2021      | Etats-Unis | Ansys Inc   |
|   | Donner un sens à l'intelligence artificielle (pour une stratégie nationale et européenne)   | Mission parlementaire | 2017-2018 | France     | Cédric Villani  |
|  | Altair : Digital Twins Global survey report (rapport d'enquête mondiale)  | Rapport international | 2022      | Etats-Unis | Altair Engineering Inc                                |
|  | SyntecIngénierie : Le jumeau numérique au service du changement climatique  | Note de position      | 2022-2023 | France     | SyntecIngénierie                                      |
|  | Le jumeau numérique en santé : Apport organisationnel et limites épistémologiques dans un contexte de crise sanitaire                             | Article de revues     | 2022      | France     | Sandra Bertzeene                                      |

| Visuel du doc | Titre du document  | Type de document           | Année | Zone géo   | Auteur(s)                                     |
|---------------|--|----------------------------|-------|------------|---|
|               | Jumeau Numérique   | Plan national de formation | 2019  | France     | Lycée Raspail (Sciences de l'ingénieur)       |
|               | Jumeaux numériques et société : entre avantages et limites               | Publication                | 2019  | France     | Etudiants en GEM Clémence Yobouet             |
|               | Jumeaux numériques - statistiques et faits                               | Publicommu niqué           | 2022  | France     | Lionel Sujay Vailshery ESC Business School... |
|               | Le jumeau numérique : De l'intelligence artificielle à l'industrie agile | Livre                      | 2020  | France     | Natalie JULIEN Eric MARTIN                    |
|               | Industrie du futur : il était une fois la 4ème révolution industrielle   | Article de revues          | 2019  | France     | Alexandre Philippot Bernard Riera             |
|               | Digital twin Pioneer : "I Called it Doubleganger" (=sosie ?)             | Biographie                 | 2002  | Etats-Unis | Dr Michael Grieves                            |

- <https://redshift.autodesk.fr/articles/qu-est-ce-qu-un-jumeau-numerique>
- <https://www.hexabim.com/tribunes/peut-on-reellement-considerer-qu-une-maquette-numerique-bim-est-un-jumeau-numerique-du-batiment>
- <https://www.linkedin.com/pulse/maquette-3d-ou-jumeau-num%C3%A9rique-gaëlle-vernerey/?originalSubdomain=fr>
- <https://sky-real.com/fr/news/les-jumeaux-numeriques-a-lheure-de-la-realite-virtuelle/>
- <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/what-is-a-digital-twin>
- <https://www.lemagit.fr/actualites/252528362/La-realite-augmentee-et-les-jumeaux-numeriques-les-premiers-pas-vers-le-metavers-industriel-Mic#:~:text=La%20r%C3%A9alit%C3%A9%20augment%C3%A9e%20serait%20la,2015%20sur%20la%20r%C3%A9alit%C3%A9%20augment%C3%A9e.>
- <https://hellofuture.orange.com/fr/voyage-dans-le-metavers-les-jumeaux-numeriques-synchronisent-le-physique-et-le-virtuel/>
- <https://nomoko.world/fr/blog/jumeaux-numeriques-elements-constitutifs-du-metavers/>
- <https://www.linkedin.com/pulse/jumeau-num%C3%A9rique-%C3%A9voluez-r%C3%A9ellement-vers-le-smart-building-bellec/?originalSubdomain=fr>
- <https://siecdigital.fr/2022/03/01/webinar-comment-liot-donne-t-il-vie-au-jumeau-numerique-dun-materiel/>
- <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/what-is-a-digital-twin>

**Annexe 2 : estimation du marché mondial du jumeau numérique**

| Estimation du marché mondial du JN         | Instituts internationaux (base Etudes 2022) |         |                     |                           |                        |            |
|--|---|---------|---------------------|---------------------------|------------------------|------------|
|  | GVR   | Gartner | Markets & Markets   | Fortune Business Insights | Allied Market Research | GMI        |
| Estimation du marché mondial du JN en 2021 | 7,5 M\$                                     |         |                     |                           | 6,5M\$                 |            |
| Estimation du marché mondial du JN en 2022 | 11,1M\$                                     |         | 6,9M\$              | 8,6M\$                    |                        | 8M\$       |
| Estimation du marché mondial du JN en 2023 |   |         |                     | 11,51M\$                  |                        |            |
| Estimation du marché mondial du JN en 2027 |   |         | 73,5 M\$            |                           |                        |            |
| Estimation du marché mondial du JN en 2030 | 156 M\$                                     |         |                     | 137,67M\$                 | 125,7M\$               |            |
| Estimation du marché mondial du JN en 2031 |   | 183 M\$ |                     |                           |                        |            |
| Estimation du marché mondial du JN en 2032 |   |         |                     |                           |                        | 90M\$      |
| <b>Croissance annuelle 2022 -2030</b>      | <b>39,10%</b>                               |         | <b>60,6% à 2027</b> | <b>42,60%</b>             | <b>39,48%</b>          | <b>25%</b> |

**Annexe 3 : Les compétences utiles au déploiement des projets de jumeau numérique**

| TYPE | THEME                      | MACRO  | NIVEAU 1 :<br>Débutant   | NIVEAU 2 :<br>Maîtrise   | NIVEAU 3 : Confirmé   | NIVEAU 4 :<br>Expert  |
|------|----------------------------|--|--|--|---|---|
|      |                            |  | Ex :<br>comprendre<br>analyser,<br>partager,<br>identifier,<br>veiller,<br>traiter...                            | Ex :<br>adapter,<br>appliquer,<br>concevoir,<br>organiser,<br>rédiger,<br>administrer<br>...                                   | Ex : anticiper,<br>diriger, piloter,<br>intégrer, déployer,<br>délivrer,<br>synthétiser...                          | Ex : définir<br>une<br>stratégie,<br>coordonner,<br>être leader,<br>encadrer,<br>pérenniser...  |
| Tech | Architecture SI            | Mettre en place une architecture SI                | Comprendre l'architecture SI globale et l'organisation du réseau   | Concevoir et gérer une architecture fonctionnelle SI performante pour le jumeau numérique                                      | Intégrer les objets connectés et flux associés (IoT) dans le réseau SI  | Assurer l'accompagnement au déploiement opérationnel du projet jumeau numérique en réseau   |
| Tech | Communication              | Favoriser la communication sur le jumeau numérique | Identifier les usages du jumeau numérique et communiquer auprès des équipes                                      | Mener des actions d'avant-vente (démonstrations – POC) et d'après-vente (formation et support utilisateur) du jumeau numérique | Promouvoir les applications du jumeau numérique auprès des équipes internes et externes, selon la stratégie définie | S'impliquer dans une campagne de publication et de diffusion vers les communautés académiques, scientifiques et industrielles, en matière de retours d'expérience sur le jumeau numérique |
| Tech | Contrôles, tests et essais | Réaliser des contrôles, tests et essais            | Réaliser une veille sur les prototypes et participer aux activités d'innovation en lien avec le jumeau numérique | Élaborer les plans de test logiciels des nouvelles applications du jumeau numérique et qualifier de nouvelles fonctionnalités  | Déployer le POC et les expérimentations à venir autour de la visualisation 3D et du projet de jumeau numérique      | Fiabiliser un prototype en situation réelle (conception, dimensionnement, choix des composants, sécurisation), et définir sa gestion via le jumeau numérique                              |
| Tech | Cybersécurité              | Garantir la cybersécurité                          | Identifier les risques cyber, dans un projet de jumeau numérique   | Gérer les processus et les risques de cybercriminalité   | Former et informer au sujet des risques cybersécurité   | Définir et mettre en place une politique de sécurité transversale liées aux usages du jumeau numérique  |

|      |                       |  |   |   |   |   |
|------|-----------------------|--|---|---|---|---|
| Tech | Cycle de vie          | Mettre en place le cycle de vie du jumeau numérique            | Comprendre le cycle de vie d'un jumeau numérique, en termes de données, d'usage et d'interopérabilité                                       | Mettre en œuvre la méthode ascendante d'analyse du cycle de vie du jumeau numérique, lors de l'étude de faisabilité du projet   | Intégrer les demandes métier, le plus en amont possible dans la définition du jumeau numérique, pour optimiser son cycle de vie                                       | Gérer le cycle de vie d'un jumeau numérique, pour favoriser la performance globale du réel grâce au virtuel en veillant à la sobriété numérique                         |
| Tech | Data                  | Utiliser et exploiter la data                                  | Partager des données issues des solutions digitales associées au jumeau numérique   | Proposer et organiser les meilleures sources de données (big data) à exploiter et à intégrer dans le jumeau numérique   | Organiser les données, les traiter et les modéliser, pour constituer des jeux de données et réaliser des tests et scénarios d'utilisation                             | Pérenniser la librairie d'échantillons physiques / virtuels pour créer des visuels haut de gamme générés par ordinateur et favoriser le travail sur le jumeau numérique |
| Tech | Développement durable | Encourager les bonnes pratiques liées au développement durable | Définir et analyser les impacts environnementaux (déchets, consommations, ressources...) qui peuvent être intégrés dans un jumeau numérique | Contribuer à la mise en place de solutions permettant de réduire l'empreinte carbone d'un secteur d'activité, par l'intégration d'un jumeau numérique visant l'amélioration continue des systèmes de production | Anticiper des phénomènes liés aux changements environnementaux et de leurs impacts, grâce au jumeau numérique d'un territoire et de son empreinte sur la biodiversité | Etre leader en matière de déploiement du jumeau numérique, en faveur d'une gestion durable et soutenable des espaces, des systèmes, des équipements                     |
| Tech | Etude                 | Mener des études sur le jumeau numérique                       | Réaliser l'ingénierie simultanée et s'assurer de la faisabilité d'assemblage sur son périmètre, dans le jumeau numérique                    | Réaliser les pré-études et contribuer au cadrage des études détaillées, propices au déploiement du jumeau numérique   | Mener une étude complète sur le jumeau numérique depuis la conception, jusqu'à la maintenance opérationnelle  | Mettre en place une stratégie permettant la structuration des diverses ingénieries mobilisées pour le jumeau numérique  |
| Tech | Géomètre              | Réaliser un jumeau numérique sur la base d'un nuage de point   | Modéliser un modèle numérique d'un équipement, d'un ouvrage, d'un territoire, sur la base d'un  | Réaliser un modèle numérique global pour l'ensemble d'un territoire destiné à de multiples usages :   | Intégrer dans la maquette des données réelles, pour informer en temps réel et avec précision le modèle numérique d'un équipement, d'un ouvrage, d'un territoire       | Intégrer des données d'acquisition multi capteur (image/LiDAR) et multiplateforme (aérien/terrestre fixe et mobile),  |

|      |                     |  |  |   |  |  |
|------|---------------------|--|--|---|--|--|
|      |                     |  | nuage de points de l'existant  | développement durable, gestion énergétique, urbanisme, sécurité, smart city, gestion des réseaux enterrés, tourisme etc.  |  | des données topographiques et thématiques multi-sources, multi-dimensionnelles et multi-échelles (pays, région, département, ville, quartier, rue, bâtiment) |
| Tech | Gestion des risques | Gérer les risques relatifs au jumeau numérique                   | Identifier les risques techniques et fonctionnels associés au jumeau numérique                                 | Participer à l'identification des risques liés à la solution et contrôler la cohérence entre les besoins réels et les développements numériques engagés, pour anticiper les failles éventuelles | Évaluer des impacts green/lean/risque et trouver le meilleur compromis grâce au jumeau numérique   | Définir une stratégie et apporter une expertise ciblée sur les besoins de chaque acteur, participant au jumeau numérique                                     |
| Tech | IA                  | Utiliser l'IA dans un projet d'envergure                         | Réaliser une veille et identifier les descriptions des idées / sujets IA                                       | Mettre en application les méthodes de Machine Learning dans un jumeau numérique   | Évaluer l'intérêt de développer l'IA/data science dans le jumeau numérique et définir précisément la pertinence  | Encadrer le développement des outils IA/data science dans le jumeau numérique avec l'ensemble des équipes techniques   |
| Tech | Industrialisation   | Utiliser le jumeau numérique dans un process d'industrialisation | Définir les flux de production pour intégrer les besoins réels dans le jumeau numérique                        | Créer et maintenir le jumeau numérique d'une usine, d'un système, d'un équipement pour simuler l'ensemble des modes de fonctionnement   | Piloter et intégrer un jumeau numérique au sein d'une unité de production (développement, tests, recalage et intégration) et accompagner la relation du réel au virtuel                            | Encadrer la conduite du changement auprès des équipes de production, dans l'intégration des process liés aux usages virtuels du jumeau numérique             |
| Tech | Innovation          | Développer l'innovation  | Participer à la réflexion et à la définition de la stratégie d'innovation du jumeau numérique avec les experts | Participer à la détection des idées de projets d'innovations collaboratives et synthétiser les productions  | Proposer des actions de ressourcement (sujets de thèses, post-doctorat, ingénieurs de recherche) au regard de la capacité et des besoins des équipes, chargée du développement du jumeau numérique | Mener une démarche agile, avec les équipes techniques en mode think tank, design thinking, hackathon... pour définir un prototype de jumeau numérique        |

|      |                  |  |   |   |   |   |
|------|------------------|--|---|---|---|---|
| Tech | Intéropérabilité | Développer l'interopérabilité                    | Exploiter les échanges entre les logiciels-métiers et utiliser des données interopérables ou en open-source   | Réaliser la conception, la mise en place et la maintenance de solutions afin de faciliter l'échange des données entre les outils utiles au jumeau numérique et tendre vers l'interopérabilité | Identifier les défaillances dans les échanges et définir des protocoles pour pallier les besoins d'interopérabilité                   | Normaliser la donnée et construire le langage commun utilisable par tous les participants du projet de jumeau numérique, en créant des dictionnaires de propriétés et des bibliothèques d'objets interopérables |
| Tech | Logiciel         | Mettre en place un environnement logiciel adapté | Identifier les capacités des logiciels métiers et définir les besoins à mettre en place en faveur du développement du jumeau numérique (API, langage commun, formats, données...) | Configurer les logiciels pour favoriser leurs usages dans un projet de jumeau numérique   | Développer une plateforme de création de jumeau numérique incluant des modèles 3D, des propriétés physiques et autres flux de données | Développer un outil de validation et de suivi du jumeau numérique, permettant une collaboration optimale entre les acteurs du projet  |
| Tech | Maintenance      | Mettre en place la maintenance                   | Utiliser le jumeau numérique, en situation réelle pour favoriser l'analyse des scénarios de maintenance prédictive, préventive, curative  | Développer un système de maintenance prédictive (Développement d'algorithmes, essais et analyse de la base de données, développement d'un système-expert, etc.) dans un jumeau numérique      | Assister les équipes pour faire remonter les besoins machines et anticiper les défaillances techniques, grâce au jumeau numérique     | Définir une stratégie de maintenance des systèmes, via le jumeau numérique, pour optimiser les coûts, pertes, temps, gestes... en phase de production et d'exploitation   |
| Tech | Modélisation     | Modéliser un élément du jumeau numérique         | Réaliser des études de capacité et/ou dimensionnement d'un élément pour sa mise en place au sein d'un système automatisé  | Modéliser et concevoir un système, un équipement, un projet, dans le cadre d'un projet de jumeau numérique  | Modéliser directement dans un modèle numérique partagé  | Définir les besoins et usages, et rédiger les documents utiles à une modélisation concertée entre les différentes ingénieries   |
| Tech | Multi métier     | Maitriser l'univers multi métier                 | Assurer l'interface utilisateur des suites logicielles utilisées entre  | Assurer et superviser le développement de logiciels et agir comme   | Délivrer des solutions qui répondent aux besoins métiers en élaborant et en exécutant des plans de test                               | Se mettre en relation avec le client pour garantir une compréhension  |

|      |                               |                                       |   |  |  |   |
|------|-------------------------------|---------------------------------------|---|--|--|---|
|      |                               |                                       | les services techniques, les fournisseurs et équipes de production pour conduire l'unité de production      | interface principale pour les architectes UI / UX, les architectes de logiciels et les développeurs de logiciels   |  | approfondie, des données et des informations produites par le jumeau numérique, auprès de tous les métiers concernées, lors de sa mise en service |
| Tech | Numérique                     | Mettre en place la solution numérique | Identifier des solutions techniques ou fonctionnelles pour répondre au besoin du projet de jumeau numérique | Rédiger des spécifications fonctionnelles avec les équipes expertes métier   | Implémenter un jumeau numérique dans un système réel (équipement/IoT/système ...)  | Accompagner les équipes, afin qu'elles participent à l'amélioration continue du jumeau numérique déployé  |
| Tech | Supply chain                  | Développer la supply chain            | Identifier les interfaces métier au sein de la production et définir leurs besoins                          | Développer des plateformes multi-métier pour la simulation d'un composant et de ses états ou pour la modélisation d'un process en tenant compte des aspects/contraintes techniques de SI | Définir et créer un jumeau numérique d'une Supply Chain, en prenant en considération l'humain dans la gestion des interfaces         | Mettre en place le jumeau numérique de la Supply Chain, pour améliorer les process réels et promouvoir ces pratiques auprès des équipes           |
| Tech | Numérique - données complexes | Coder et exploiter les données        | Exploiter des langages de programmation (python, sysml...)  | Réaliser et vérifier des calculs mathématiques généraux ou appliqués et les intégrer dans des bases de données et les modèles numériques   | Développer, améliorer et prendre en charge les processus, les données et le système d'information métier associé au jumeau numérique | Mettre à jour le process intégré du jumeau numérique dans un système complexe comme le Métavers, le BIM, le CIM...                                |
| Tech | Projet - numérique            | Piloter la production numérique       | Clarifier et discuter autour du cahier des charges avec les métiers de l'ingénierie                         | Piloter les activités dans le domaine de la conception et de la modélisation : encadrement fonctionnel des développeurs concernés  | Développer le jumeau numérique complet du système/produit/équipement d'un poste de pilotage  | Aider au contrôle des livrables et à l'intégration des données  |

|      |                         |                                  |  |   |   |  |
|------|-------------------------|----------------------------------|--|---|---|--|
| Tech | Projet - ingénierie     | Piloter les projets d'ingénierie | Clarifier et définir le cahier des charges avec les métiers du numérique   | Gérer les revues de projet et les processus métier et développer les usages et les stratégies d'optimisation grâce au jumeau numérique                  | Mettre en place un système de couplage entre les jumeaux numériques simulés et les équipements réels en utilisant des formats d'échanges standards, entre les équipes                 | Valoriser les résultats du projet au travers notamment de communications, d'articles scientifiques, de participations à des congrès et conférences, en maîtrisant les différentes disciplines concernées |
| Tech | Projet jumeau numérique | Définir les cas d'usages         | Définir des informations nécessaires au déploiement du jumeau numérique et ses limites fonctionnelles  | Concevoir les scénarios green/lean/risques grâce au jumeau numérique  | Exploiter les concepts et mettre en place les relations du jumeau numérique (JN) / physique (JP)  | Immerger un jumeau numérique dans une reconstitution (ex.un médecin (Jumeau Physique du Médecin) face à un patient virtuel (Jumeau Numérique du Patient))  |
| Tech | Qualité                 | Satisfaire les exigences qualité | Accompagner des audits et vérifier la conformité des solutions digitales au sein du périmètre métier   | Analyser, synthétiser et rédiger la documentation technique interne, externe pour garantir la qualité du jumeau numérique à produire, entre les parties | Superviser les prestations de développement, de maintenance et participer à l'intégration et aux phases de tests (feedbacks) pour améliorer la qualité d'ensemble du jumeau numérique | Mettre en place une politique de qualité, dans le cadre du développement des jumeaux numérique et cultiver les retours d'expérience à des fins d'amélioration continue                                   |
| Tech | Veille                  | Mettre en place une veille       | Exercer une veille technologique dans le domaine concerné pour faire progresser les capacités de l'équipe en utilisant de nouvelles méthodes, technologies et outils logiciels (industrie 4.0, santé, défense, transport, construction...) | Faire de la veille technologique sur les outils du jumeau numérique (IoT, data, systèmes embarqués...) et définir les assemblages possibles             | Mener une veille scientifique (veille bibliographique, orientations, thématiques) et suivre opérationnellement un projet de R&D (planning...) en lien avec le jumeau numérique        | Participer à la stratégie de R&D et proposer de nouvelles pistes de travail avec les équipes de direction et de production   |

|      |                       |  |   |   |  |   |
|------|-----------------------|--|---|---|--|---|
| Tech | Visualisation         | Maitriser les outils de data visualisation | Maitriser l'immersion dans une reconstitution de la situation distante à l'aide d'un dispositif de Réalité Virtuelle (RV)   | Utiliser la simulation et interagir via différents dispositifs (clavier, souris, casque de RV/RA, space mouse, etc.).                             | Contribuer au développement des méthodes et des outils pour la reconstruction et la visualisation interactive du jumeau numérique                                      | Proposer le développement d'une architecture logicielle permettant la connexion de plusieurs sites intégrant des dispositifs de RV/RA   |
| Tech | Web design            | Définir l'ergonomie                        | Comprendre les besoins des utilisateurs finaux et proposer une approche graphique adaptée                                   | Maquetter sans code (via des outils comme Figma)  | Évaluer et tester les maquettes auprès des utilisateurs finaux   | Décrire les fonctionnalités associées aux maquettes   |
| Tech | Sobriété numérique    | Encourager la sobriété numérique           | Etre en veille sur les éléments du jumeau numérique et les couts énergétiques associés                                      | Appliquer des règles strictes, pour respecter les consommations énergétiques liées aux usages du jumeau numérique                                 | Piloter et réguler les flux de données des équipes dédiées au jumeau numérique et partager les bonnes pratiques de sobriété numérique                                  | Définir la stratégie de sobriété numérique et veiller à sa mise en application à toutes les étapes de développement et d'utilisation du jumeau numérique                                      |
| Orga | Amélioration continue | Développer l'amélioration continue         | Participer à la capitalisation sur les travaux et le code informatique produits en cours de déploiement du jumeau numérique | Analyser les retours d'expérience, rétrospectives et réflexions sur les évolutions de la stratégie produit/projet et capitaliser les informations | Piloter l'optimisation de la production (process, logistique, appro...), grâce à l'utilisation du jumeau numérique   | Définir la stratégie d'amélioration continue des performances d'un système, via le jumeau numérique : analyser les pertes de capacité, les délais, les dysfonctionnements avec les équipes IT |
| Orga | Pluridisciplinarité   | Favoriser la pluridisciplinarité           | Comprendre et identifier la pluridisciplinarité autour d'un projet de jumeau numérique                                      | Travailler de façon transverse dans un contexte pluridisciplinaire impliquant des interactions fonctionnelles diverses                            | Encadrer des ingénieurs issus de culture métiers différentes, pour le projet de jumeau numérique et détecter la possibilité de réaliser des publications scientifiques | Déployer la culture commune et d'ouverture sur les métiers des autres et mettre en place des outils et des méthodes pour favoriser la compréhension   |

|      |                               |                             |  |  |   |  |
|------|-------------------------------|-----------------------------|--|--|---|--|
|      |                               |                             |  |  |   | des besoins de chacun  |
| Orga | Pilotage de projet - budget   | Piloter le budget du projet | Partager des données de qualité et administrer les solutions digitales, dans le respect des budgets impartis | Appliquer les directives définies dans le cahier des charges du jumeau numérique, et respecter le budget alloué selon les phases               | Anticiper le budget prévisionnel des expérimentations en lien avec le jumeau numérique et ses applications  | Définir les besoins de capacité supplémentaires à installer et encadrer les budgets d'investissements associés   |
| Orga | Pilotage d'un projet complexe | Piloter un projet complexe  | Gérer et coordonner des projets d'envergure intégrant des concepts complexes                                 | Mettre en place des outils facilitant le pilotage opérationnel du projet de jumeau numérique et comprendre la complexité                       | Piloter des intervenants externes affectés à l'expérimentation puis à la réalisation du jumeau numérique et traiter les problématiques majeures et mineures selon leur priorité | Coordonner un projet complexe, être leader au sein d'une équipe pluridisciplinaire en mettant en place des méthodes et la documentation afférentes         |
| Orga | Règlementation                | Respecter la réglementation | Comprendre et respecter les normes inhérentes aux divers sujets que traite le jumeau numérique               | Satisfaire les exigences normatives et réglementaires en trouvant les meilleurs compromis entre les spécialités métiers                        | Rédiger tous types de documents techniques et contractuels, et intégrer les exigences dans les processus métier   | Piloter et garantir le respect du cadre juridique lié aux données (cloud act, IA Act, souveraineté de la donnée, RGPD)                                     |
| Orga | Stratégie                     | Développer la stratégie     | Etre l'interface entre les utilisateurs finaux et l'équipe de développement de la solution                   | Assurer du transfert technologique des résultats du projet vers les acteurs de l'opérationnel  | Définir les leviers à mobiliser en adéquation avec la stratégie, pour tendre vers la performance globale, grâce au jumeau numérique   | Déployer une vision holistique et systémique (besoins, usages, organisation...) sur un projet de jumeau numérique  |
| Orga | Supports techniques           | Produire la documentation   | Mettre à jour la documentation technique relative au jumeau numérique  | Réaliser des supports de communication (ex. Speechs d'interventions en salon) pour promouvoir les expériences acquises sur le jumeau numérique | Piloter la rédaction de la documentation utile aux expérimentations en lien avec le jumeau numérique et ses applications  | Encadrer et garantir une haute qualité de la documentation produite, des rapports techniques et des méthodes développées dans le cadre du jumeau numérique |
| Comp | Adaptation                    | Faire preuve d'adaptation   | Etre rigoureux et faire preuve de curiosité intellectuelle   | Travailler en autonomie au regard des objectifs du   | Piloter un relationnel favorable, dans un environnement pluridisciplinaire  | Piloter les équipes vers une culture ouverte sur les disciplines,  |

|      |                        |  |   |   |  |   |
|------|------------------------|--|---|---|--|---|
|      |                        |  | pour mieux communiquer avec les autres corps de métier  | projet de jumeau numérique et s'adapter aux diverses situations   | complexe et encourager une communication structurée  | les pratiques, les langages informatiques et les modes de communication différents  |
| Comp | Collaboration          | Favoriser la collaboration               | Partager les meilleures pratiques entre les contributeurs du projet   | Répondre aux sollicitations de ses interlocuteurs en tenant compte des spécificités métier                            | Participer aux réunions de convergence produit/process avec les chefs de projet  | Conseiller, cadrer, accompagner, épauler la mise en œuvre des travaux des différentes équipes techniques  |
| Comp | Collaboration client   | Encourager la collaboration client       | Contribuer à la vie d'un projet de jumeau numérique et comprendre les vues métiers avec le client             | Communiquer sur l'avancement du projet en interne et organiser les temps d'échanges avec le client                    | Seconder la direction dans le dialogue avec les maitrises d'ouvrage et avoir une posture de consultant   | Coordonner la gestion de la relation client dans toutes les étapes du projet de jumeau numérique  |
| Comp | Conduite du changement | Etre acteur de la conduite du changement | Etre à l'écoute de ses interlocuteurs (clients, collaborateurs, etc.) et comprendre les difficultés de chacun | Etre soucieux de l'atteinte de résultats, collectivement et encourager le changement en équipe                        | Accompagner la gestion du changement lors de l'introduction de nouvelles méthodes de travail ou de nouvelles solutions logicielles ou matérielles auprès des équipes de production | Communiquer sur les évolutions, les dysfonctionnements et accompagner le changement auprès des utilisateurs   |
| Comp | Communication          | Convaincre les parties prenantes         | Aborder des problématiques sous plusieurs angles et avoir une approche exhaustive                             | Convaincre et promouvoir les résultats auprès d'auditoires variés (expert technique, client, comité de pilotage etc.) | Mener des concertations et des négociations avec les parties prenantes   | Mettre en place une campagne de communication sur le jumeau numérique sur la base de la littérature scientifique approuvée  |
| Comp | Formation              | Former les acteurs                       | Participer à des formations internes sur le jumeau numérique  | Transmettre un savoir, une technique, une compétence sur des notions complexes relatives au jumeau numérique          | Former et communiquer aux autres membres du bureau d'études, sur la manière d'utiliser le jumeau numérique   | Encadrer les formations virtuelles sur un élément du monde réel et piloter instantanément les données et mises à jour d'instructions (ex. via un médecin virtuel (Jumeau Numérique du Médecin)) |

|      |                      |   |  |  |   |   |
|------|----------------------|---|--|--|---|---|
| Comp | Gestion d'équipe R&D | Gérer une équipe R&D                    | Participer à un programme de jumeaux numériques et aux projets qui en découlent, en lien avec les centres de recherche | Animer l'équipe projet de recherche : orientation des travaux de recherche, gestion du temps et des priorités, intégration des | Piloter la collaboration entre les différentes équipes et assurer le lien entre les parties prenantes et les instituts de recherche concernés | Développer son leadership, dans le cadre d'un programme de recherche et développement multipartites |
| Comp | Relationnel          | Développer des capacités relationnelles | Travailler dans un environnement exigeant demandant une forte réactivité   | Animer une démarche agile et innovante   | Etre force de proposition et d'innovation   | Etre créatif(ve) et novateur(trice) et partager sa vision   |
| Comp | Analyse              | Développer le sens de l'analyse         | Comprendre et décrire les éléments fondamentaux dans un projet de jumeau numérique                                     | Développer une forte capacité d'analyse et de synthèse face à un environnement complexe  | Identifier et analyser les points de convergence entre les parties, et mettre en place une démarche collective et concertée                   | Piloter la performance globale, sur la base d'analyses réalisées par l'ensemble des parties         |