



Modélisation des INformations INteropérables
pour les INfrastructures Durables



IREX

Institut pour la recherche appliquée
et l'expérimentation en génie civil

Jumeaux numériques des infrastructures pour des territoires durables.

Note de positionnement MINnD

MINnDs2_note_positionnement_jn_territoires_durables_053_2023

Septembre 2023

Site internet : www.minnd.fr

Président : François ROBIDA Chefs de Projet : Pierre BENNING / Vincent KELLER

Gestion administrative et financière : IREX (www.irex.asso.fr), 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

I. RESUME

La gestion durable des infrastructures requiert l'atteinte d'objectifs de **performance technique, socio-économique et environnementale** à toutes les échelles, du niveau de l'équipement jusqu'au territoire, en impliquant tous les acteurs liés à la vie de l'ouvrage. Cela concerne les utilisateurs et les riverains, tout au long du cycle de vie, de sa conception à son exploitation jusqu'à son démantèlement. Pour garantir la **performance et la sobriété des systèmes territoriaux complexes**, il est essentiel de valoriser davantage les informations décrivant l'infrastructure et son comportement dans le temps.

Le jumeau numérique peut être défini comme une **représentation virtuelle de l'actif** en exploitation créée à partir des données échangées lors des phases de conception-réalisation et alimentée en continu par les données de maintenance et d'exploitation, permettant de répondre à des cas d'usage multiples.

Les infrastructures se prêtent naturellement à l'adoption d'un jumeau numérique.

Le projet national MINnD a identifié plusieurs facteurs essentiels au succès des initiatives de Jumeau Numérique de territoire :

1. la **participation de tous les acteurs** de l'infrastructure dès l'expression du besoin à la mise en place des systèmes d'information appropriés, et au premier chef, la maîtrise d'ouvrage publique,
2. un **cadre commun** pour le partage des informations à l'échelle des territoires,
3. la mise en œuvre de **plateformes collaboratives**, support des services des environnements communs de données (CDE) en conformité avec les normes en vigueur,
4. la réponse aux **enjeux environnementaux**,
5. **l'accompagnement au changement** et la formation.

Bien qu'il soit désormais reconnu que la collaboration au sein des projets doit se conformer aux normes en vigueur, des défis subsistent en ce qui concerne leur **déploiement opérationnel**.

Il est essentiel de poursuivre les efforts de recherche et de développement pour enrichir **l'interopérabilité des formats**, encourager **l'innovation par l'expérimentation de cas d'usages concrets** et promouvoir **la normalisation** des pratiques dans le secteur des infrastructures.

2. CONTEXTE

Des enjeux partagés par les acteurs de la filière

La recherche de performance de l'infrastructure sur l'ensemble de son cycle de vie

La gestion durable des infrastructures ¹ impose l'atteinte d'objectifs de performance technique, socio-économique et environnementale, de l'équipement au territoire, pour tous les acteurs impliqués par la vie de l'ouvrage, et sur l'ensemble du cycle de vie de l'actif. La performance et la sobriété des systèmes complexes passent par une meilleure valorisation des informations décrivant l'infrastructure bâtie et son comportement dans le temps.

Les acteurs de la filière des infrastructures s'accordent sur l'importance de **minimiser la perte d'information** entre les différentes phases du cycle de vie des actifs.

L'amélioration de la performance des infrastructures passe par la capitalisation des connaissances dès les premières phases d'un projet. Le **modèle d'informations** ainsi constitué permet de décrire l'infrastructure de manière exhaustive, ce qui facilite sa maintenance, son exploitation, la planification de son financement, l'optimisation des achats liées à la chaîne d'approvisionnement, la prévision des ressources nécessaire à son entretien et son exploitation à long terme, ainsi que son exposition aux risques.

En conséquence, la **maîtrise des flux d'information** constitue un axe d'amélioration des performances et de la durabilité des infrastructures, en favorisant les échanges de données pertinentes entre la Maîtrise d'Ouvrage² et les entreprises dès la rédaction

¹ Note de Positionnement. *Les contributions de MINnD aux enjeux des infrastructures durables*

² Note de Positionnement. *Le maître d'ouvrages, un acteur clé des transitions écologique et numérique*

... aux échelles pertinentes pour la prise de décision éclairée intégrant les indicateurs nécessaires à la conduite de la transition écologique

Dans un contexte d'essor des opportunités de la transformation digitale

Généralisation de la digitalisation de la donnée pour les phases d'études

Développement des moyens de gestion des observations

Les Jumeaux Numériques se développent en réponse à ces enjeux

des **exigences** pour la phase de conception réalisation puis tout au long de la vie de l'ouvrage.

L'information doit agir positivement sur l'intégration des infrastructures dans leurs territoires, répondre aux objectifs de réduction de quantités de matériaux employés, de rejets de polluants dont les GES³, et d'optimisation de l'énergie consommée.

Ces objectifs imposent une prise en compte des **interactions** de l'ouvrage avec l'environnement et les aménités qui les entourent. La prise en compte du contexte environnemental, socio-démographique et économique **à toutes les échelles** est nécessaire pour **évaluer l'impact** des projets, mieux **anticiper les risques** de toute nature et contribuer à l'**acceptation** des projets par les populations voisines et les futurs utilisateurs.

La transformation numérique du secteur représente une opportunité significative pour contribuer à relever les enjeux cités précédemment. Cette transformation redéfinit les **moyens**, tels que les outils numériques et les systèmes d'informations, les **processus**, ainsi que les **rôles et responsabilités** de chacun des acteurs impliqués dans la vie des infrastructures. Grâce aux progrès technologiques récentes et à la maturité grandissante de la filière, il est désormais possible de collecter, mesurer, comparer, modéliser, simuler, et gérer l'information décrivant l'infrastructure à bâtir puis son comportement en cours d'exploitation, et enfin, son démantèlement.

Ces évolutions concernent aussi bien l'émergence de nouveaux procédés de modélisation des informations de la construction tels que la méthodologie BIM (Building Information Modeling) et le Système d'Information Géographique (SIG)⁴ que l'utilisation d'environnement commun de données (CDE) permettant aux différents acteurs du projet d'accéder à l'ensemble des données nécessaires pour la planification, la réalisation et la gestion du projet.

Depuis une décennie, l'emploi des processus collaboratifs de modélisation du bâti se généralise en phase de conception et de construction. L'enjeu est aujourd'hui de tirer parti de ces données lors de la phase d'exploitation, la plus longue dans la vie de l'infrastructure.

La connexion en temps réel des capteurs (IoT), des systèmes de contrôles (SCADA, GTB) et des logiciels de maintenance (GMAO) utilisés par les gestionnaires d'infrastructures, a permis la surveillance en temps réel des paramètres de construction, la remontée et l'historicisation des incidents d'exploitation facilitée par le déploiement de réseaux Wifi, 4G, 5G et la démocratisation des outils de mobilité (smartphones et tablettes).

Dans le même temps, l'utilisation de nouveaux moyens d'acquisition de données en 3D (drones, robots, scanners, caméras panoramiques) s'est développée offrant la possibilité de systématiser l'acquisition d'informations ou de remplacer l'intervention humaine dans des contextes d'accès contraints ou dangereux.

Les infrastructures sont des systèmes complexes aux nombreuses interfaces internes et externes, intégrées dans des contextes territoriaux aux enjeux variés à différentes échelles. En raison de la nature et de la fonction de ces infrastructures, les décisions liées à leur gestion ont des conséquences à long terme pour l'environnement, les populations et l'ensemble des acteurs impliqués dans leur cycle de vie. Pour contribuer à atteindre les objectifs de performance et de durabilité à l'échelle territoires, la constitution et l'exploitation de Jumeaux Numériques des infrastructures dans leur environnement devient stratégique.

³ Note de Positionnement *L'impact positif du numérique sur le bilan carbone d'un projet de construction*

⁴ Note de Positionnement *BIM et SIG : une approche commune pour le partage des données des territoires*

**En support de la gestion
des actifs de systèmes
complexes**

Dans divers secteurs industriels, de nouvelles approches de gestion des informations ont émergé, établissant des liens entre les données de conception et celles recueillies tout au long du cycle de vie des produits, permettant l'émergence de nouveaux services issus du croisement et de l'analyse de ces données.

Ces **services**, rassemblés sous le terme générique de **Jumeaux Numériques**, visent à améliorer la gestion de systèmes aussi variés que des produits manufacturés, des installations pétrolières ou des chaînes de production.

Face aux impératifs de performance, d'efficacité énergétique et de durabilité, le secteur des infrastructures peut également profiter de ces avancées en explorant l'application des Jumeaux Numériques à ses domaines d'activité. En tirant des enseignements des secteurs de l'aérospatiale, de la santé ou de l'industrie manufacturière, des progrès constants sont réalisés dans le développement d'outils numériques adaptés aux particularités des infrastructures. Cette évolution ouvre la voie à la création progressive de Jumeaux Numériques spécifiquement conçus pour proposer une réplique des **systèmes réels** en exploitation, afin d'en fournir une **représentation virtuelle enrichie**, alimentée en temps réel par des données reflétant leur état et leur fonctionnement.

**... ils éclairent la prise
de décision**

Le croisement des informations, décrivant les infrastructures avec les données de leur comportement, offre de nouvelles capacités dans la prise de décisions concernant la gestion de ces actifs bâtis. Pour ce qui concerne les infrastructures, les Jumeaux Numériques s'inscrivent dans les processus de Gestion des actifs⁵ décrits dans **l'ISO 55000** permettant à une organisation de gérer son patrimoine en fonction de la stratégie globale.

**Par les cas d'usage
dépendant du besoin et
des phases du cycle de
vie⁶**

Les leviers de performance et de valeurs apportés par les services de Jumeaux Numériques s'expriment dans les champs d'application divers : Performance technique et opérationnelle, Suivi de construction, Maintenabilité, Eco-conception, Investissement, Formation, Gestion des risques et des opportunités. Les cas d'usage des Jumeaux Numériques poursuivent quatre objectifs principaux : **Informer, Analyser, Simuler et Anticiper**.

⁵ ISO 55000 – Gestion des Actifs

⁶ [Note_Syntec_Jumeau-Numerique.pdf \(syntec-ingenierie.fr\)](#)

3. APPORTS ET POSITION DE MINND

Plateformes collaboratives et collaboration de plateformes

La collaboration entre différents projets repose sur l'échange de données et plus particulièrement sur une mise en œuvre maîtrisée des Environnements Communs de Données (CDE) des projets concernés. Le projet national MINND a fait émerger que certaines dynamiques ne reflètent pas encore les prescriptions des exigences normatives ISO 19650⁷ et des objectifs d'interopérabilité.

Plateformes collaboratives et collaboration des plateformes

Si les notions d'espaces de travail et de travail collaboratif sont le point commun des définitions du terme 'plateforme collaborative' dans la littérature, elles sont pourtant interprétées de façons très différentes selon les acteurs-métiers. Certaines expérimentations sont d'ores et déjà mises en place par des acteurs des infrastructures. La dynamique doit être prolongée pour intégrer les exigences normatives actuelles et les objectifs d'interopérabilité préconisés par MINND avec buildingSMART France.

Une architecture numérique distribuée et ouverte

Le concept de plateforme collaborative s'appuie sur une vision générique d'un environnement informatique ouvert répondant à toutes les exigences normatives et composée de trois parties :

- les plateformes collaboratives,
- les services de données,
- et les outils métier.

Ces concepts sont indépendants des technologies numériques les supportant à la condition que les briques dialoguent et interagissent suivant des standards ouverts.



Figure 1 : Le Jumeau Numérique et sa plateforme de services associés

⁷ ISO 19650 et ses 6 fascicules « Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) »

<p>Un cadre consensuel pour l'émergence des Jumeaux Numériques des infrastructures</p>	<p>Le projet national MINnD a permis à ses partenaires de converger vers une vision partagée, y compris sémantique⁸, concernant le développement des Jumeaux Numériques pour contribuer au pilotage des infrastructures durables.</p>
<p>Le double virtuel « vivant »</p>	<p>Selon les travaux de MINnD : « le Jumeau Numérique est un double virtuel fonctionnel, suffisamment réaliste et dynamique, d'une infrastructure depuis sa planification jusqu'à son démantèlement. Il intègre des informations captées d'usage et de vieillissement, et des capacités d'information, d'analyse, de simulation de performance, de prédiction et d'aide à la décision éclairée, proposées comme des services aux utilisateurs. Par usage les doubles virtuels permettront la cohésion du Jumeau Numérique consolidé afin d'assurer la performance globale ».</p>
<p>...et une architecture associée</p>	<p>L'ambition très vaste du Jumeau Numérique et la diversité de ses cas d'usage, nécessite la mise en œuvre et la connexion des différents types de données des conteneurs d'information, susceptibles de supporter le modèle d'information réaliste et fiable de tous les états dynamiques d'un ouvrage en construction ou en fonctionnement. Il en est de même pour l'architecture des services permettant d'exposer aux utilisateurs les informations brutes, raffinées ou croisées répondant à leurs besoins.</p>
<p>Un travail de spécification des cas d'usage du Jumeau Numérique</p>	<p>Dans une approche complémentaire aux actions menées dans les autres secteurs d'activités⁹, le projet MINnD a fait émerger une vision partagée par les partenaires de la filière de ce que peut apporter la mise en œuvre des Jumeaux Numériques à travers une liste de cas d'usage adaptés aux cycles de vie des infrastructures. Le projet national a basé ses réflexions sur la réalité actuelle des organisations et des technologies disponibles en prenant en compte les forts écarts constatés dans les attentes des acteurs et la variété des domaines d'application.</p>
<p>En conception</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'anticipation par la simulation de la performance technique et environnementale des infrastructures, de la maintenabilité et des conditions d'exploitation ainsi que la meilleure prise en compte des besoins des utilisateurs, des usagers et des populations environnantes ; • L'amélioration de la gestion des enjeux environnementaux tels que la maîtrise de l'énergie, des émissions de GES, l'économie des ressources et la gestion des déchets, la minimisation des impacts et des nuisances, la protection de la biodiversité et la biosphère ;
<p>En construction jusqu'à la livraison</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'amélioration du suivi de l'avancement, de la qualité (maîtrise des tolérances et incertitudes) et de la maîtrise des risques du chantier (analyse et prédiction de situations de danger et de mise en sécurité des personnes) ; • L'amélioration de la préparation de la construction par la simulation des méthodes de mise en œuvre, l'étude du positionnement des équipements et de la logistique du chantier (grues, engins, suivi des approvisionnements et des opérations de stockage) ;
<p>Lors de la prise en main</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'amélioration de la connaissance de l'ouvrage tel que construit par la contextualisation du registre des actifs composants l'ouvrage et la livraison d'un DOE¹⁰ numérique global et validé ; • La diversification des modalités de formation et d'entraînement des personnels grâce à la consultation, la navigation ou l'immersion dans la représentation virtuelle schématique, réaliste ou augmentée de l'infrastructure ;
<p>En exploitation jusqu'au démantèlement</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'amélioration des opérations d'exploitation en mode nominal et en mode dégradé par la capacité de prédiction des défauts et du vieillissement, la simulation des scénarios de maintenance des ouvrages, l'optimisation continue en temps réel des paramètres d'exploitation, le suivi et l'amélioration continue de l'empreinte environnementale, la simulation des opérations et du recyclage (économie circulaire).

⁸ Glossaire MINnD

⁹ MINnD : Cartographie des acteurs

¹⁰ Dossier des Ouvrages Exécutés, suivant les dispositions de la loi MOP relative à la maîtrise d'ouvrage publique

... S'appuyant sur un référentiel de règles de gestion de l'information

Les Jumeaux Numériques décrivent l'infrastructure et son évolution dans le temps en intégrant des quantités importantes d'informations de nature, de formats et de provenances diverses. Pour que ce volume conséquent de données hétérogènes serve les besoins visés par les acteurs de l'infrastructure, il est essentiel de mettre en œuvre des **stratégies** et des modalités de collecte, d'accès, de transmission et de mise à jour de l'information indépendantes des fournisseurs de logiciels **OpenBIM** et conformes aux **enjeux de qualité, de propriétés intellectuelles et de cybersécurité**. L'enjeu principal posé par la conception des Jumeaux Numériques est de garantir la **modularité de son architecture de services** pour suivre les évolutions des besoins et des technologies, tout en étant suffisamment robuste pour délivrer une qualité constante de service sur le temps long.

Une vision commune de la filière traduite en normes

L'**écosystème français de la construction** accompagne ces nouvelles pratiques centrées sur la donnée de façon **concertée et opérationnelle, avec les partenaires internationaux et les éditeurs de logiciels**. Les acteurs de la filière ont élaboré et publié un ensemble de documents normatifs sur lesquels les Maîtres d'Ouvrages peuvent s'appuyer pour prescrire les usages du Jumeau Numérique de leurs infrastructures.

Le rôle clé de l'information à toutes les phases de la vie de l'infrastructure

L'intégration des informations de natures diverses dans des systèmes d'analyse, de navigation virtuelle et de remontée d'indicateurs contribue à éclairer la prise de décision aux étapes clés de la vie de l'actif. Elle impose cependant de veiller à la mise en cohérence des données, leur interopérabilité, leur gestion dans des services des plateformes dédiées (CDE) et l'adaptation du niveau d'information disponible aux différents usages. La **norme ISO 19 650** permet la mise en œuvre des **processus** de gestion de l'information mettant l'accent sur les rôles et responsabilités, la collaboration entre acteurs, la traçabilité des échanges au regard des cas d'usages prévus et décrits à l'avance dans les contrats. L'organisation de la donnée autour des objets à construire est également indispensable à l'émergence des Jumeaux Numériques.

Processus d'échanges de données et format interopérables

La **norme IFC 4.3 (ISO 16 739¹³)**, offre un **modèle de données ouvert** et un format interopérable permettant l'échange de données utiles à la description techniques des ouvrages linéaires comme les réseaux routiers et ferroviaires¹⁴. Avec la norme **ISO 23 386¹⁵**, les experts définissent les propriétés des objets permettant ainsi la structuration de la connaissance métier liée aux composants, équipements et systèmes constructifs.

Ces normes offrent le **cadre de standardisation** des processus d'échange, permettant, l'identification et la localisation des équipements constituant le système, l'extraction des quantitatifs fiables et exhaustifs ainsi que l'élaboration d'indicateurs de performance pertinents.

Considérant les flux et bases de données dynamiques

Le fonctionnement d'un Jumeau Numérique implique la coordination et la consolidation des flux d'informations générées par diverses sources selon leurs cycles propres. Les informations décrivant les actifs aux côtés des données environnementales (notamment issues des SIG) sont mises à jour au fil des projets de modification, renouvellement ou opérations de maintenance lourde. Parallèlement, les données issues de capteurs sont remontées en quasi - temps réel depuis le terrain. La combinaison de ces informations aux temporalités hétérogènes nécessite la **maitrise des architectures de systèmes d'informations** aussi bien sur les plans opérationnels et informatique que sur l'angle sémantique (dictionnaire de données) et des protocoles de mise à jour.

Exigences de gestion de l'informations et OpenBIM

La base de connaissances structurée décrivant les actifs doit être **facilement exploitable** par tous les acteurs sur le long terme. Cela implique de conduire une stratégie de gestion de l'information pour l'ensemble du cycle de vie de l'infrastructure, en particulier lorsqu'il

¹³ ISO 16739 « Classes de fondation d'industrie (IFC) pour le partage des données dans le secteur de la construction et de la gestion des installations »

¹⁴ Note de Positionnement *L'extension des IFC aux infrastructures, un levier essentiel d'interopérabilité*

¹⁵ ISO 23386 « Modélisation des informations de la construction et autres processus numériques utilisés en construction - Méthodologie de description, de création et de gestion des propriétés dans les dictionnaires de données interconnectés »

s'agit de relier les cycles du modèle d'information du projet ¹⁶(PIM) et de l'actif ¹⁷(AIM). Les **exigences sur les Dossiers d'Ouvrages Exécutés (DOE)** numériques encadrent les attendues en matière de données à délivrer en fin de Projet de Construction pour garantir la **viabilité des services** de Jumeaux Numériques à mettre en œuvre lors des phases de maintenance et d'exploitation.

À cet égard, l'apport de l'Open BIM est déterminant. Cette approche issue d'un consensus industriel (règles communes et standards de données sans dépendance aux outils utilisés pour la produire ou la consulter), est la seule à **garantir la pérennité, l'évolutivité et l'interopérabilité des échanges d'information**.

La prescription de formats ouverts tels que les IFC et les GML fiabilise ainsi les échanges de données sur le long terme en permettant une flexibilité dans le choix de la technologie, créant plus de valeur pour l'ensemble des acteurs et rendant possible une **approche centrée sur les données** pour l'ensemble du cycle de vie des infrastructures.

Cloud et CDE

La collaboration entre différents acteurs, entités ou départements se fait par le biais d'échanges de données aux formats multiples supportés par des **"Environnements de Données Communs" (CDE)**. Également appelés "plateformes collaboratives", ces espaces sont mis en œuvre pour héberger, partager et mettre à jour les informations décrivant l'actif réel de manière efficace et transparente tout au long du cycle de vie du projet. Ils doivent être accessibles à tous les acteurs en fonction de leurs rôles et responsabilités dans le projet afin d'obtenir des **données compréhensibles pour chaque acteur**, permettant de conserver une trace des décisions prises et si besoin de reconstruire le contexte les ayant amenées

La question de l'accessibilité et de la collaboration en temps réel pour améliorer l'efficacité et la qualité du processus de construction implique une **bonne utilisation du Cloud** et la mise en place d'une administration des accès afin de garantir la confidentialité ainsi que la propriété intellectuelle des données.

Le CDE doit regrouper toutes les fonctionnalités nécessaires pour garantir la cohérence des informations, y compris dans le cas de modifications partielles du modèle de données. C'est le respect de l'ensemble de ces conditions qui fait la fiabilité du CDE de comme source de données utilisée par tous les acteurs.

Considéré comme un prérequis pour l'émergence des Jumeaux Numériques, le CDE organise l'accès aux données permettant d'élaborer les modèles numériques de l'actif physique, qui peuvent être utilisés pour simuler et prédire le comportement de l'objet dans différents scénarios.

Cybersécurité et Propriété Intellectuelle

En tant que représentation fidèle et réaliste d'une infrastructure réelle, le Jumeau Numérique se compose des données personnelles, des informations à caractère sensible ou dont l'usage pourrait présenter des risques d'exploitation malveillante. La mise en œuvre du Jumeau Numérique doit inclure un volet de mesures relatives **au respect des lois et règlements** concernant la propriété intellectuelle, le RGPD et plus globalement la protection de ces données face aux cyber-attaques

¹⁶ PIM : [Project Information Model, ISO 19650-1 :2018, 3.3.10 modèle d'information \(3.3.8\) se rapportant à la phase de réalisation \(3.2.11\).](#)

¹⁷ AIM : [Asset Information Model, ISO 19650 :1-2018, modèle d'information \(3.3.8\) se rapportant à la phase d'exploitation \(3.2.12\).](#)

4. PROPOSITIONS

Les préconisations de MINnD

Le projet national MINnD a identifié une série de facteurs concourant au succès des démarches de Jumeau Numérique de territoire. Il repose notamment sur **l'implication de tous les acteurs de l'infrastructure** au plus tôt dans le cycle de vie des ouvrages afin de recueillir leurs besoins et ainsi préciser les données nécessaires, les systèmes d'informations à mettre en place et les compétences à mobiliser pour atteindre les objectifs et les attentes des gestionnaires d'infrastructure.

Identifier les informations qui seront utiles pour alimenter ces cas d'usages

Les Jumeaux Numériques fondent leur valeur sur l'exposition et le recoupement d'informations décrivant l'infrastructure et son comportement dans le temps. Ces informations permettront de prendre des décisions optimales si elles sont suivies, sourcées et historisées. L'utilisation intensive de ces données nécessite de **placer des plateformes de gestion de l'information au cœur du dispositif** pour veiller à ce que leur fiabilité, leur précision, leur périmètre d'application, leur cohérence soient garantis. Les modifications successives affectant les données nécessitant d'être reproduites dans la représentation virtuelle, impliquent non seulement des capacités de visualisation des informations, mais également des fonctions d'édition de ces modèles de données.

... et préciser l'Architecture des Systèmes d'information à mettre en place

La représentation virtuelle de l'actif physique requiert une architecture numérique permettant de répondre aux besoins d'hébergement, de disponibilité, de mise à jour et d'archivage des informations décrivant l'infrastructure durant tout son cycle de vie. Des environnements communs de données sont mis en œuvre, pour garantir la maintenance et la sécurisation des données de l'infrastructure construite.

La **collaboration entre les acteurs** de la vie de l'infrastructure impose à ces plateformes collaboratives un **haut niveau d'interopérabilité**.

Ces échanges multiples nécessitent que l'accès, les interconnexions et les performances de ces CDE aient été dimensionnés pour répondre aux besoins des utilisateurs. Pour ce faire, la responsabilité de la configuration, de l'administration et de la maintenance des environnements communs de données doit être **définie dans les contrats** pour une période en rapport avec la durée de vie de l'ouvrage, et impérativement inclure la gestion des données archivées.

Des structures d'informations et des protocoles d'échange doivent être mis en place pour encadrer l'accès, l'enrichissement, le maintien à jour et la récupération des données qui sous-tendent les services offerts par le Jumeau Numérique. Ce cadre permet également de construire les **passerelles entre les différents systèmes** d'information connectés au jumeau (BIM et SIG, Documentation, GMAO, GTC/GTB, IoT, etc.) et de développer de nouveaux services.

Impliquer les utilisateurs dès la phase de conception

La création du Jumeau Numérique doit être initiée dès la phase de conception ou de renouvellement de l'infrastructure et nécessite l'implication de tous les acteurs de l'infrastructure physique et en particulier des métiers de la phase d'exploitation – maintenance.

Les Maîtres d'Ouvrages jouent un rôle décisif dans l'adhésion à la démarche ; leur utilisation des Jumeaux Numériques à valeur d'exemple auprès des autres acteurs concernés par la gestion patrimoniale et l'exploitation – maintenance.

Pour capturer leurs besoins

Le déploiement des services de Jumeaux Numériques, même progressif, initie de nouvelles pratiques de travail, mobilisant plus largement les représentations visuelles (3D ou 2D), une gestion de l'information **centrée-objet** (plutôt que centrée-fichier), et la collaboration à travers des plateformes (CDE, GMAO).

La prise en compte des attentes des utilisateurs finaux permet **d'identifier et prioriser les cas d'applications** des jumeaux numériques à déployer, et les systèmes d'informations à intégrer dans la démarche. Plus les utilisateurs finaux sont associés dans la définition de ces besoins, plus le Jumeau Numérique qui en découlera sera pertinent et trouvera naturellement sa place dans les activités opérationnelles.

Et mobiliser de nouvelles compétences face à de nouvelles responsabilités

Le développement puis l'usage des jumeaux numériques impose de **nouvelles responsabilités**. La mise à disposition des informations pertinentes ainsi que leur maintien à jour dans le temps doivent être confiés à des équipes spécialisées dans la gestion des données et travaillant en lien étroit avec des représentants des métiers traditionnels de l'infrastructure physique, capables de transposer les requis opérationnels des métiers. Elles sont également chargées d'animer et stimuler les mises à jour du jumeau, vérifier le respect du processus d'assurance qualité et des règles de structuration données. Cette mission **d'opérateur de jumeau numérique** peut être sous-traitée ou intégrée aux organisations en charge de l'exploitation ou du gestionnaire de patrimoine, pourvu que **le jumeau numérique reste bien sous l'autorité du donneur d'ordre**.

Ce qu'il reste à faire

Compte tenu du large spectre des services de Jumeaux Numériques, ils devront être **développés progressivement**, en augmentant graduellement la complexité des cas d'utilisation mise en œuvre par les gestionnaires d'infrastructure. La mobilisation de la filière est essentielle dans ce domaine pour **garantir l'indépendance vis-à-vis des « formats propriétaires » et l'interopérabilité, optimiser les investissements** dans la recherche et le développement de processus innovants, permettre **l'acculturation des utilisateurs et des décideurs** par la sensibilisation et la formation, et nécessairement soutenir les avancées en matière de normalisation et de partage des bonnes pratiques dans chaque domaine des infrastructures.

Le développement du Jumeau Numérique impose d'innover

Bien que certaines solutions soient déjà opérationnelles et déployées sur les projets français d'infrastructure (logiciels de conception, CDE, GMAO), de **nombreux outils et processus métier restent à développer** sur la base de spécifications fournies par des experts. Il est recommandé d'accompagner le recueil des besoins par des expérimentations afin de qualifier plus précisément les cas d'usage, leur faisabilité technique, leur viabilité économique et atténuer les risques liés à leur déploiement opérationnel.

Le processus d'innovation et de développement d'un Jumeau Numérique a de meilleures chances de succès s'il repose sur un minimum de maîtrise, à savoir :

- un périmètre d'application restreint sur le plan technique et géographique (par ex. un tronçon d'infrastructure)
- un jeu de données suffisamment représentatif de la complexité des activités qu'il supportent

Garantir l'indépendance et l'interopérabilité

L'architecture d'un Jumeau Numérique est un socle ouvert exposant des informations interconnectées. Pour garantir leur fonctionnement à long terme indépendamment des choix individuels des fournisseurs de solutions logicielles, les services et les données doivent être établis selon des formats interopérables et normalisés et s'intégrer dans les spécifications et les architectures européennes afin de répondre aux besoins d'indépendances et d'autonomie des plates-formes numériques, à l'image des cadres en cours de définition avec GAIA X.

Des actions coordonnées au niveau des filières doivent être étendues pour **poursuivre la coopération et la collaboration avec les éditeurs de logiciels**, et assurer la validation et la mise en œuvre des **cas d'usage propres aux enjeux des infrastructures**.

Investir dans la recherche et le développement de processus innovants

Le travail de recherche doit être prolongé pour mieux spécifier les besoins en informations et les processus de traitement des données nécessaires à la mise en œuvre de certains services de Jumeaux Numériques, comme :

- le vieillissement des ouvrages, les enjeux environnementaux liés aux changements climatiques, l'analyse du cycle de vie, la simulation des systèmes complexes, la replanification des opérations selon les aléas ou les nouvelles exigences, ...
- l'introduction de nouvelles pratiques du numérique telle que l'Intelligence Artificielle (IA).

Apporter de la confiance dans l'usage des Intelligences Artificielles

Permettre l'acculturation par la sensibilisation et la formation

...nécessitant des avancées en normalisation

Par exemple le vieillissement des ouvrages, les enjeux environnementaux liés aux changements climatiques, l'analyse du cycle de vie, la simulation des systèmes complexes et la replanification des opérations selon les aléas ou les nouvelles exigences.

Ces développements autour des cas d'usage doivent s'accompagner de travaux portant sur l'adaptation des référentiels publics et privés permettant la connexion sécurisée aux services de données tenant compte :

- du droit de propriété intellectuelle et des enjeux de cybersécurité,
- des enjeux responsabilité, par le contrôle sur les algorithmes qui devront, eux aussi, s'inscrire dans des environnements interopérables et normalisés.

L'IA offre des **opportunités inédites** pour l'analyse de problématiques et la prise de décision.

Mais la prise de décision d'acteurs des territoires nécessite une information fiable, c'est-à-dire des **sources** d'informations identifiables et un traitement **explicable**, notamment lorsqu'il s'agit de question de sécurité des personnes ou autre enjeu critique.

L'Europe se dote d'ailleurs d'un arsenal juridique (« AI act ¹⁸») pour offrir ce cadre de confiance.

Ainsi l'IA doit s'alimenter de données **interprétables** et **interopérables**.

Les jumeaux numériques offrent cette capacité pour gérer des informations interprétables et interopérables, avec **traçabilité** des sources.

L'émergence des Jumeaux Numériques nécessite la **sensibilisation des acteurs et la formation** des personnels impliqués et des utilisateurs. Les modes opératoires conventionnels doivent être enrichis des nouvelles capacités offertes par ces représentations virtuelles des infrastructures lors des phases de conception et de construction mais également de maintenance et d'exploitation. Afin de permettre l'amélioration continue des méthodes et la formation des personnels, les cas d'usage de l'ingénierie numérique doivent être standardisés pour faciliter la rédaction des cahiers des charges et l'exécution des projets.

Ces activités supposent un effort conséquent de la communauté industrielle de la construction pour préparer la normalisation des divers domaines à intégrer dans la continuité des normes ISO 19650. Ainsi, au seul niveau de la normalisation du jumeau numérique proprement dit, le projet MINnD a identifié les lignes de progrès suivantes :

- **Compléter le modèle** de représentation organique propre aux disciplines des infrastructures (géotechnique, ferroviaire, terrassement...) et enrichir ces formats d'échanges (IFC) et modèle de données de capacités de représentation fonctionnelle ;
- **Intégrer** les besoins des domaines liés à l'**environnement**, à la durabilité des ouvrages et à la nature des activités exercées à partir des développements normatifs éventuellement autonomes du champ de la construction ;
- **Savoir prescrire les exigences** d'information (AIM et PIM), dans les contrats des acteurs de la construction et de l'exploitation-maintenance.

Rédacteurs

Etienne PANSART, Alessia POCE, avec emprunts à certains rapports en référence.

¹⁸ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/fr/policies/european-approach-artificial-intelligence>

Références des livrables de MINnD S2 en rapport avec les Plateformes Collaboratives et les Jumeaux Numériques

- [MINnDs2_GT0.1_cartographie_acteurs_050_2023](#)
- [MINnDs2_GT1.7_BIM_archivage_recommandations_022_2023](#)
- [MINnDs2_GT3.1_integratio_n Progressive_PLM_exploitation_infrastructure_transport_026_2022](#)
- [MINnDs2_GT3.2_vision_partagee_jumeau_numerique_027_2022](#)
- [MINnDs2_GT4.1_ville_intelligente_IoT_livre_blanc_028_2023](#)
- [MINnDs2_GT4.1_ville_intelligente_IoT_rediger_charte_smartcity_033_2023](#)
- [MINnDs2_GT5_retro_ingenierie_donnees_entree_attentes_volumetrie_030_2023](#)
- [MINnDs2_GT5_retro_ingenierie_incertitudes_precision_responsabilite_034_2023](#)
- [MINnDs2_GT6.2_plateformes_collaboratives_definition_concepts_031_2023](#)
- [MINnDs2_GT6.2_plateformes_collaboratives_illustrateur_openCDE_038_2023](#)
- [MINnDs2_GT6.3_revue_projet_036_2023](#)