

# DOE numérique : quels processus pour fiabiliser cet *asset* numérique et en faire un actif de valeur ?

L'année 2020 a fait définitivement basculer le monde du BTP dans l'ère du numérique. Cette nouvelle étape ouvre non seulement un champ des possibles pour optimiser les chantiers de construction, mais révolutionne également en profondeur les modes de travail, obligeant ainsi les organisations à s'engager dans des processus rigoureux de gestion de l'information (*data management*). La qualité des données (*data*) est primordiale et devient désormais un enjeu de performance et de maîtrise de la production.

Pour bon nombre de maîtres d'ouvrage, la constitution du dossier des ouvrages exécutés (DOE) est une étape clé, mais relève souvent du parcours du combattant pour réussir à obtenir un dossier compilé et récolé de son ouvrage. Du côté de l'entreprise, il s'agit généralement d'une tâche fastidieuse à réaliser au moment où la phase de réception mobilise l'énergie des conducteurs de travaux et de l'équipe de maîtrise d'œuvre.

Nous tenterons dans cet article d'apporter des réponses sur les processus qui permettent de fiabiliser le DOE en tant qu'*asset* (« ressource ») numérique pour en faire un actif de valeur. Cet article abordera notamment les apports d'une démarche BIM (*Building Information Modeling* ou « modélisation des données du bâtiment » en français) dans le cadre de la constitution du DOE et de sa transmission aux équipes d'exploitation-maintenance.

## > Sommaire

- 1 • Constat sur les enjeux et les limites des DOE actuels
- 2 • DOE numérique : pourquoi constituer cet *asset* de valeur ?
- 3 • État de l'art des DOE numériques en France
- 4 • Comment mettre en place une stratégie BIM pour obtenir une maquette numérique du « tel que construit » ?
- 5 • Comment améliorer et fiabiliser les informations du DOE numérique ?
- 6 • Cas d'étude : projet « CARIVRY » (Icade Promotion et Ynov Campus)
- 7 • Le DOE numérique est-il adapté pour faire de l'exploitation-maintenance ?
- 8 • Boîte à outils pour constituer un DOE numérique
- 9 • Références

## Thibault Bourdel

*Ingénieur de formation, spécialisé dans le conseil numérique. Il est aujourd'hui directeur général de BIMtech, entreprise française spécialisée en BIM management au service de la maîtrise d'ouvrage dans le déploiement et le pilotage des processus BIM grâce à la maquette numérique. Il a au préalable réalisé au sein de l'agence AREP des missions de management de projets et de déploiement du BIM. Il a également été responsable BIM au sein de la direction « Ingénierie & Travaux » d'AREP et a développé l'activité BIM exploitation-maintenance.*

## Rémy Navarro

*Titulaire d'un diplôme en management de projet BIM au Conservatoire national des arts et métiers (Cnam) de Paris. Il collabore sur des projets de conception BIM en renouvellement urbain et sur des partenariats d'innovation en BIM de gestion-exploitation-maintenance (GEM). Il travaille depuis 2015 sur le sujet des maquettes numériques, d'abord en maîtrise d'œuvre puis en entreprise générale. Il est actuellement chargé de projet BIM au sein de BIMtech. Il a été élu en 2020 « BIM Influencer » par la plateforme HexaBIM.*



## 1 Constat sur les enjeux et les limites des DOE actuels

Pour comprendre les enjeux et les limites du dossier des ouvrages exécutés (DOE), il est important de définir au préalable ce livrable de manière exhaustive.

Le site Cobuilder [1] détaille précisément le contenu du DOE, qui est la base documentaire de l'ouvrage tel qu'il a été construit. À la fin d'un chantier, au moment de la réception des travaux et du constat de leur bonne exécution, la maîtrise d'œuvre (MOE) doit remettre au maître d'ouvrage (MOA) le DOE du projet. Ce dernier doit pouvoir en effet disposer d'une documentation faisant état de la réalisation réelle des travaux qu'il a commandés, que leur exécution soit relative à la construction d'un immeuble de bureaux, à une réhabilitation de plusieurs logements ou à une extension d'un ouvrage, par exemple.

En marché public, l'article 40 du cahier des clauses administratives générales (CCAG) des marchés publics de travaux, dit « CCAG-Travaux » [2], prévoit que son contenu est fixé dans les documents particuliers de marché. Il doit cependant comporter *a minima* les éléments suivants :

- les plans d'exécution, de distribution et de détail de l'ouvrage ;
- les notices techniques descriptives et de fonctionnement des équipements ;
- le manuel de maintenance décrivant la périodicité des éléments à remplacer (cf. garantie des équipements) ;
- les synoptiques : réseaux électriques courants forts (CFO) et courants faibles (CFA) ; réseaux de chauffage, ventilation et climatisation (CVC) ; réseaux voix, données et images (VDI) ; réseaux de sécurité des systèmes d'information (SSI) ; réseaux de fluides spéciaux, etc.

En fonction du type de projet, il peut être aussi complété avec des documents tels que :

- l'inventaire des matériels installés ;
- les formations à l'utilisation des différents équipements et du matériel ;
- les préconisations sur les produits d'entretien et les risques associés ;
- les conditions de garantie des fabricants industriels attachées aux équipements ;
- les constats d'évacuation des déchets ;
- les plans de récolement ;
- la localisation des cloisons et portes coupe-feu ;
- la localisation des ouvrants pompiers.

Dans le cas de marchés privés, les conditions d'établissement et de remise du DOE sont fixées au contrat lors de la passation du marché, notamment en faisant référence à la norme NF P 03-001 [3].

Mais ces pièces dépendent surtout de la nature du marché et de la norme à laquelle il fait référence.

De cette façon, le propriétaire de l'asset mais aussi les exploitants et les mainteneurs à venir disposeront de toutes les informations nécessaires à la compréhension de l'ouvrage. Ces éléments sont primordiaux si ceux-ci souhaitent faire réaliser ultérieurement des travaux d'entretien, de maintenance, de gestion, d'exploitation ou de réhabilitation totale ou partielle. Les DOE sont également utiles lors des déclarations de sinistre pour apporter aux assureurs toutes les précisions utiles sur la nature des dommages.

Afin de remplir pleinement son rôle, il est indispensable que le DOE soit réalisé avec soin et de manière structurée. À défaut, il devient en effet rapidement inefficace. Or, dans la mesure où ce dossier représente souvent une véritable contrainte administrative en fin de projet, il peut vite être négligé et sa constitution déléguée à des services éloignés des travaux, ou à un stagiaire ou un alternant.

Pour compléter la définition de ce document et pour alimenter la réflexion sur le DOE numérique, des entretiens ont été réalisés avec une dizaine de maîtres d'ouvrage (MOA), de maîtres d'œuvre (MOE), d'entreprises générales, d'éditeurs de logiciels et d'assistants à maîtrise d'ouvrage BIM (AMO BIM) ayant participé à des projets déployant une démarche collaborative BIM, autour du sujet du DOE.

Des extraits de ces entretiens sont présentés tout au long de l'article.



### Exemple

**Florent Daumas, responsable de projet de la Coopérative HLM de la Boucle de la Seine**

« Obtenir des DOE dans les temps et de bonne qualité est souvent un enfer, car les DOE par définition doivent être remis en fin de chantier – période très tendue pour les entreprises, car en pleine livraison de chantier. De plus, la maîtrise d'œuvre a quant à elle tendance à passer à d'autres projets et considère le chantier actuel comme du passé. De plus, on se retrouve souvent avec un dossier bâclé car il s'agit souvent d'un travail administratif peu valorisant réalisé par les entreprises et sous-traitants qui sont souvent de petites sociétés peu structurées pour fournir des DOE de qualité ; on retrouve souvent le strict minimum, avec quelques fiches techniques et quelques plans qui ne sont pas forcément à jour. Avec ce genre de problèmes, la fin du projet peut se transformer en véritable chasse aux DOE avec le risque de ne pas respecter le planning. Pour l'anecdote, lorsque j'étais moi-même stagiaire en conduite de travaux chez un *major*, la réalisation des DOE était sous ma responsabilité, car cette tâche était considérée comme secondaire.

Pourtant, les DOE sont très importants pour une maîtrise d'ouvrage, qui devra soit exploiter, soit vendre son bâtiment. C'est lors de cette exploitation que les DOE apparaissent indispensables, ce n'est pas rare qu'un ancien acquéreur m'appelle pour me demander de quelle couleur était peinte sa porte d'entrée ou quelle était la marque de sa fenêtre... Plus les DOE sont clairs et précis, plus il est simple de répondre à ce genre de questions. Pour un bailleur, les DOE sont encore plus importants, car ils sont la source d'information principale pour d'éventuels travaux d'entretien ou de réparation.

Pour améliorer la constitution des DOE, il faudrait que les informations soient plus exhaustives et minutieusement contrôlées par la maîtrise d'œuvre avant une remise à la maîtrise d'ouvrage. Il faudrait

pouvoir centraliser toutes ces informations pendant toute la durée du projet, plutôt que de réaliser les DOE de manière précipitée en toute fin de chantier. »

Les acteurs de la construction s'accordent à dire que les méthodologies actuelles de constitution des DOE sont limitées, et que la qualité des DOE est souvent assez médiocre. Ils soulignent également qu'il n'y a pas de partage et de collaboration dans la compilation et l'archivage des informations. Face à cette limite, le DOE numérique avec une démarche BIM est-il la clé pour se libérer de cette contrainte et exploiter enfin la véritable valeur du DOE en phase de gestion-exploitation-maintenance (GEM) ?

## 2 DOE numérique : pourquoi constituer cet asset de valeur ?



### Texte officiel

CCAG-Travaux (arrêté du 30 mars 2021 [NOR : ECOM2106871A] [2]) et CCAG-Maîtrise d'œuvre (arrêté du 30 mars 2021 [NOR : ECOM2106877A] [4])

Art. 2. Définitions [...]

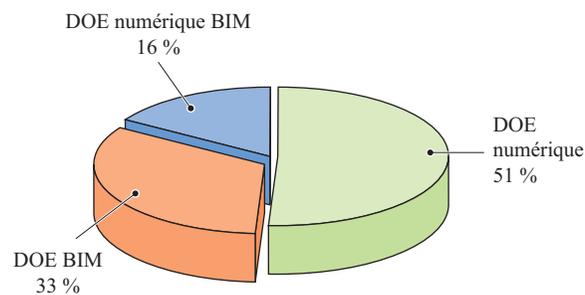
Le BIM (« *Building Information Modeling* » ou « modélisation d'informations de la construction ») est une méthode de travail basée sur la collaboration autour d'une maquette numérique. Dans un processus BIM, chaque acteur de la construction crée, renseigne et utilise cette maquette, et en tire les informations dont il a besoin pour son métier. En retour, il alimente la maquette de nouvelles informations pour aboutir finalement à un objet virtuel renseigné, représentatif de la construction, de ses caractéristiques géométriques et des propriétés de comportement.

Pour préciser les intérêts de la constitution d'un DOE dans une démarche BIM, il est important de définir cet *asset* « DOE 2.0 » à l'ère de la transformation numérique du bâtiment.

À ce jour, aucun texte officiel ne donne de description précise de cet actif numérique. C'est là le principal problème : chaque spécialiste ou acteur du BIM a sa propre vision, sa propre définition du DOE dans une approche BIM, avec parfois un discours digne d'un zélateur.

Afin de tenter de définir ce « DOE 2.0 », plusieurs sondages à choix multiples ont été réalisés au cours du premier trimestre 2021 sur LinkedIn. Une centaine d'intervenants du secteur de la construction a répondu aux divers sondages proposés. Les répondants sont des MOA (promoteurs et exploitants), des MOE (majoritairement des architectes), des entreprises générales et des AMO BIM. Chaque acteur a eu la possibilité de commenter le sondage et d'échanger avec les autres répondants.

Comme cela est précisé dans le résultat du sondage relatif à la sémantique (fig. 1), les spécialistes et les utilisateurs du DOE en démarche BIM ne sont pas tous d'accord avec la dénomination du « DOE 2.0 », ce qui entraîne parfois de vives discussions. Mais même si aucune définition précise n'est donnée du DOE en démarche BIM, il convient, au-delà de la sémantique, d'aborder le sujet de manière pédagogique *via* la rédaction



La sémantique : dit-on « DOE numérique » ? « DOE BIM » ? « DOE numérique BIM » ?

Fig. 1. Sémantique du DOE dans une démarche BIM (source : sondage réalisé sur LinkedIn au 1<sup>er</sup> trimestre 2021 auprès d'une centaine d'acteurs de la construction).

du cahier des charges BIM (CDC BIM), afin de partager des hypothèses de travail communes et de définir clairement les attendus.



### Texte officiel

CCAG-Travaux (arrêté du 30 mars 2021 [NOR : ECOM2106871A] [2]) et CCAG-Maîtrise d'œuvre (arrêté du 30 mars 2021 [NOR : ECOM2106877A] [4])

Art. 2. Définitions [...]

– le « cahier des charges BIM » est le document élaboré par le maître d'ouvrage précisant les exigences et les objectifs des intervenants successifs du projet. Il constitue le volet BIM du programme du maître d'ouvrage ;

– la « convention BIM » de l'opération est le document décrivant les méthodes organisationnelles, de représentation graphique, la gestion et le transfert des données du projet, ainsi que les processus, les modèles, les utilisations, le rôle de chaque intervenant et l'environnement collaboratif du BIM. À chaque étape du cycle de vie du projet, la convention évolue et s'adapte aux nouveaux acteurs, à des usages nouveaux ou à des nécessités du projet. [...]

### 2.1 « DOE 2.0 » : DOE numérique ? DOE BIM ? DOE numérique BIM ?

Tout d'abord, il ne faut pas confondre la dénomination d'un livrable avec son processus de production. Le livrable, dans le contexte actuel, est désigné de différentes manières :

- maquette numérique du « tel que construit » (ou « *as built* ») ;
- maquette DOE ;
- maquette numérique des ouvrages exécutés (MNOE).

Dans la plupart des cas, le livrable a pour dénomination « maquette DOE », et « maquette numérique des ouvrages exécutés (MNOE) » pour les plus experts. Il s'agit de la maquette numérique du projet enrichie de toutes les données de la conception, des études d'exécution et de la vie du chantier à travers un processus BIM.

Si cette maquette est partie intégrante du DOE, elle ne le remplace pas intégralement pour autant. Il est primordial d'insis-



ter sur ce point, car les maquettes numériques ne peuvent pas porter l'ensemble des données du DOE. Par exemple, il n'est pas possible, aujourd'hui, d'encapsuler l'historique des modifications de conception dans la maquette. Il n'est pas non plus possible d'inclure dans le modèle BIM l'historique des échanges par mail entre les intervenants qui ont participé à la constitution du DOE. La maquette DOE est créée sur la base des besoins exprimés par la MOA et par le futur exploitant. Elle constitue les données d'entrée principales pour initialiser la phase GEM.

Il convient de formaliser le contenu de la maquette DOE dans le cahier des charges BIM, qui doit rendre compte des objectifs attendus en BIM au stade de la livraison de l'ouvrage et de la mise en exploitation, comme nous le verrons plus loin (voir § 4.1 « Cahier des charges BIM : le socle de la stratégie BIM de la MOA »).

Ensuite, le BIM fait référence au processus mis en œuvre pour la production. Le livrable de DOE en est le résultat, le livrable final. Il n'est pas possible de fournir à une MOA un DOE contenant l'ensemble du processus collaboratif BIM. La simple livraison d'une maquette numérique ne constitue pas une condition suffisante pour justifier, à elle seule, que le projet a été géré dans une démarche BIM. Il est ainsi important de réfléchir avant d'ajouter automatiquement la mention « BIM » à tout livrable sous forme de maquette numérique intégré à une phase quelconque. On commence aussi à entendre parler de « dossier de consultation pour les entreprises BIM » (« DCE BIM »), alors qu'en réalité la démarche consiste seulement, la plupart du temps, à mettre une maquette numérique à disposition des entreprises, sans aucune suite, échange, encadrement contractuel ou précisions sur les processus attendus dans les phases ultérieures.

Quant au DOE numérique, il correspond à la nécessité de disposer de fichiers au format numérique, en complément ou non de documents au format papier. Le terme de « document numérique » existe, lui, depuis très longtemps ; il est lié à l'aspect du format et non à son contenu. Par ailleurs, l'expression « DOE numérique » n'est pas assez précise en soi. Les attendus doivent être décrits dans un des documents BIM du projet, comme le cahier des charges ou la convention BIM. De plus, beaucoup d'acteurs ne sont pas conscients que le terme de « DOE numérique » suppose la livraison de maquettes DOE ; l'utilisation du terme de « DOE BIM » pourrait ainsi permettre d'être plus explicite.

En conclusion, quelle dénomination retenir ? Quelle que soit l'appellation choisie, la désignation de cet actif restera vague et sujette à controverse jusqu'à ce que des textes officiels traitent la question sur le fond. En attendant, il est primordial de structurer les attendus dans un cahier des charges BIM, au besoin avec le soutien d'un assistant à maîtrise d'ouvrage BIM (AMO BIM) si le maître d'ouvrage n'a pas les compétences en interne. Ce document décrit en effet précisément les attendus de cet

asset numérique. Le choix du nommage de cet *asset* appartient au donneur d'ordre au regard de ce qui est expliqué plus haut.

## 2.2 Quel est l'intérêt de constituer des DOE sous forme de maquette numérique ?



### Recommandation

Frédéric Pitel, directeur des travaux et de l'architecture du centre hospitalier régional et universitaire (CHRU) de Brest

« Au-delà des facilités et des avantages procurés par une maquette numérique en phase conception et réalisation, le DOE numérique doit nous permettre avant tout de faciliter l'exploitation et la maintenance de nos bâtiments. Cela doit nécessairement s'accompagner d'une formation des équipes et de la gestion des interfaces avec les outils de type GMAO<sup>(1)</sup> et GTB<sup>(2)</sup>. »

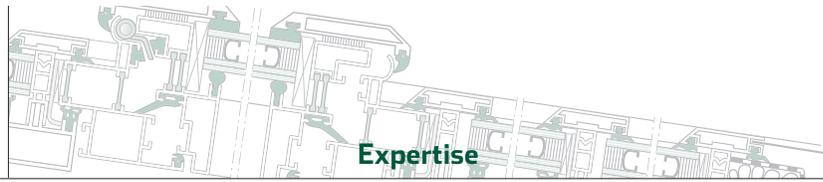
Avoir recours à un DOE numérique dans une démarche BIM est un choix intéressant, car la gestion de l'information au format papier n'est ni toujours fiable ni toujours accessible. Par exemple, il est beaucoup plus difficile de partager et de consulter un DOE au format papier, mais aussi d'effectuer le suivi de modifications complexes sur l'ensemble des exemplaires.

Le BIM et sa maquette numérique permettent à la fois une conception et une réalisation non seulement plus rapides des projets grâce à la réduction des aléas (pré-synthèse, puis synthèse technique et architecturale) et plus précises grâce à la quantification des produits dans une maquette. Les premiers bénéficiaires de ces retombées sont les concepteurs, qui gagnent en niveau de collaboration et optimisent la qualité des études, ainsi que les entreprises de construction, qui améliorent leur coordination – dans le but, là encore, de réduire les coûts de production et de rester compétitifs par rapport aux offres concurrentes. Ces améliorations liées à l'utilisation du BIM permettent d'espérer une réduction du coût global de la construction. Le maître d'ouvrage est donc lui aussi bénéficiaire des avantages liés à l'emploi du BIM en achetant son bâtiment mieux conçu et moins cher. Oui, mais pas uniquement.

La gestion et l'entretien d'un bâtiment représentent 71 % des coûts d'un ouvrage en considérant l'ensemble de son cycle de vie [5]. Les « *asset manager* » qui assurent le suivi commercial, administratif et financier d'un portefeuille immobilier et les « *facility manager* » qui prennent en charge l'ensemble des services liés à la gestion d'un site montrent un intérêt grandissant à utiliser le BIM et la maquette numérique d'exploitation-maintenance (MNEM), qui sert ainsi d'outil de gestion et d'exploitation à part entière. Elle ne doit pas être confondue avec la MNOE issue du DOE, qui est un objet contractuel et qui sera transformée pour une utilisation en phase GEM. La mise à disposition de données appropriées dans un référentiel spa-

(1) Gestion de maintenance assistée par ordinateur.

(2) Gestion technique des bâtiments.



tial permet d'optimiser la communication entre les différents intervenants et de réaliser des économies à la fois en temps, en efforts liés à leur analyse et *a fortiori* en qualité d'intervention.

### Remarque

**Stanislas Taboureau, responsable d'unité, conseil BIM (AMO & GEM) chez AREP**

« Le DOE numérique est la finalité d'un projet en BIM ; il garantit à une MOA d'avoir une donnée de fin de projet structurée et plus facilement consultable qu'un jeu de PDF (souvent des images scannées) ou un dossier papier. Suivant les objectifs de la MOA, ce DOE permet également de déverser tout ou partie des données du projet dans les outils d'exploitation et de maintenance de l'ouvrage, voire d'utiliser la maquette comme structure d'un jumeau numérique à terme. »

La liste des atouts de cet *asset* numérique est vaste. Voici quelques usages possibles :

- centralisation et agrégation des informations depuis une seule interface (gain de temps) ;
- connaissance exacte de son ouvrage (quantitatifs, documentation, etc.) ;
- meilleure compréhension du projet pour les intervenants ;
- possibilité d'extraire des plans et des quantitatifs ;
- possibilité de migrer vers des solutions d'hypervision BIM<sup>(3)</sup>, de *City Operating System*<sup>(4)</sup> (COS) ou de *Building Operating System*<sup>(5)</sup> (BOS) de type « jumeaux numériques<sup>(6)</sup> » ;
- augmentation de la valeur de son patrimoine avec une base de données fiable ;
- aide à la décision dans les choix d'investissement ;
- support pour la gestion des contraintes réglementaires ;
- communication et promotion de son ouvrage, notamment auprès des occupants.

Aujourd'hui, le véritable potentiel du BIM *via* la création de jumeaux numériques sur la base de maquette numérique DOE n'est pas pleinement exploité. Les experts sont convaincus que cet *asset* numérique va profondément transformer la façon

**(3) Hypervision BIM :** un hyperviseur BIM monitoré des données en temps réel sur la base d'une maquette numérique, comme un superviseur de gestion technique du bâtiment. L'hypervision propose aussi des liens vers d'autres outils de type gestion des services informatiques comme le ticketing.

**(4) City Operating System :** plateforme logicielle qui fait le lien entre les infrastructures d'une ville et des bâtiments d'une part, et les applications utilisées par les gestionnaires et les résidents de la ville d'autre part. Il centralise et unifie les données à la manière d'un système d'exploitation. C'est un middleware qui permet de normaliser et d'abstraire les échanges de données entre les logiciels et entre les composants physiques.

**(5) Building Operating System :** plateforme logicielle qui fait le lien entre les équipements d'un bâtiment et les applications utilisées par les gestionnaires et les occupants du bâtiment. Il centralise et unifie les données comme le COS.

**(6) Un jumeau numérique est un double numérique d'un objet, d'un processus ou d'un système qui peut être utilisé pour divers usages. La représentation numérique fournit à la fois les éléments et la dynamique de fonctionnement tout au long de son cycle de vie.**

dont sont gérés les ouvrages. À plus ou moins court terme, le maître d'ouvrage aura ainsi besoin des informations du DOE pour gérer le bâtiment ; sa constitution est donc fondamentale et représente dès lors un facteur clé de réussite pour la suite de l'exploitation du bâtiment. Ce DOE numérique permettra en effet de bâtir un jumeau numérique exhaustif, le but étant d'établir à terme une continuité et une traçabilité tout au long du cycle de vie du bâtiment.

### Recommandation

**Benoît Lecrioux, responsable BIM de Cardinal Édifice**

« Les avantages constatés [de l'usage du DOE numérique] sont ceux exprimés par les exploitants et les mainteneurs. L'usage de la maquette numérique et de sa donnée doit permettre de réduire le temps de recherche d'informations, ainsi que le nombre et la durée d'intervention sur site. Le jumeau numérique permet une meilleure lecture des données des capteurs, de fixer des seuils d'alerte et donc de prévenir de pannes paralysantes. Cette vision et l'analyse de toutes ces données doivent permettre de passer d'une maintenance curative à une maintenance prédictive.

Pour un maître d'ouvrage qui confie la maintenance à un tiers, ces gains devraient conduire à une réduction de coût qui doit compenser l'investissement consenti, et/ou à une opérationnalité accrue de son bâtiment. »

## 3 État de l'art des DOE numériques en France

### Important

**Quand le premier DOE numérique en BIM a-t-il été constitué en France ?**

Selon le site *Le Moniteur* [6], le conseil régional de Bourgogne fut en France le premier à gérer son patrimoine de lycées au moyen du logiciel Active 3D et sur la base de modèles BIM IFC<sup>(7)</sup>, qui étaient les prémices du DOE numérique. Un appel d'offres a été lancé en 2004 afin de disposer d'un outil de connaissance du patrimoine. Le choix s'est porté sur le groupe Archimen et le logiciel Active 3D. À l'époque, le module de gestion de patrimoine n'existait pas en tant que tel ; il a donc été développé en partenariat avec le conseil régional, et presque sur-mesure par rapport à ses besoins. Un second appel d'offres a ensuite été lancé en 2005 afin d'effectuer les relevés et la numérisation des bâtiments existants.

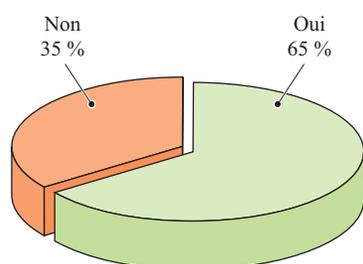
Maintenant que nous avons démontré la pertinence de constituer cet actif de valeur, nous vous proposons de dresser l'état de maturité des DOE numériques en France, avec un regard croisé des experts BIM sur cette question d'actualité brûlante. Nous profiterons également du retour d'expérience et des témoignages d'une MOA et d'une entreprise générale (voir § 6 « Cas d'étude »).

**(7) Industry Foundation Classes (« classes de fondation d'industrie ») :** format de fichier orienté objet destiné à assurer l'interopérabilité entre les différents logiciels de maquette numérique [7].



Les principaux résultats des sondages réalisés auprès de professionnels de la construction nous donnent un premier éclairage du niveau de maturité en matière de DOE numérique (fig. 2 à fig. 4).

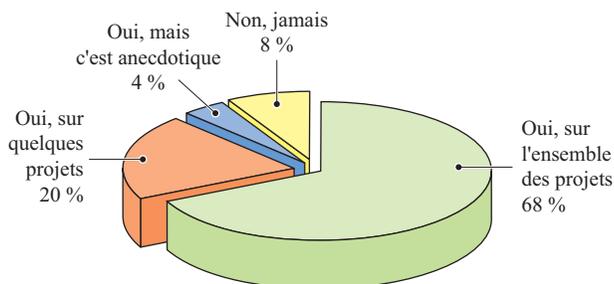
Premièrement (fig. 2), 65 % des sondés ont déjà participé à la constitution d'un DOE numérique avec une collaboration en BIM. Le point le plus important à retenir est que ceux qui ont répondu « Non » sont en majorité des MOA du secteur privé. Cela montre que le secteur de la construction n'a pas encore pris la pleine mesure de la valeur du BIM et de la constitution du DOE numérique en processus BIM.



Avez-vous déjà participé à la constitution d'un DOE numérique ?

**Fig. 2. Participation à la constitution d'un DOE numérique** (source : sondage réalisé sur LinkedIn au 1<sup>er</sup> trimestre 2021 auprès d'une centaine d'acteurs de la construction).

Deuxièmement (fig. 3), parmi les 65 % qui ont déjà participé à la constitution d'un DOE BIM, 68 % indiquent avoir rencontré des difficultés pendant la phase d'exécution (EXE) lors de la constitution des DOE. *A contrario*, 8 % seulement n'ont pas rencontré de problèmes dans la création de valeur de l'asset numérique. D'où viennent les difficultés évoquées ?

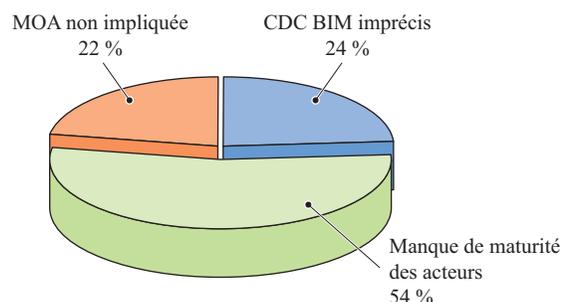


Rencontrez-vous des difficultés pendant la constitution des DOE numériques en phase EXE ?

**Fig. 3. Difficultés lors de la constitution d'un DOE numérique** (source : sondage réalisé sur LinkedIn au 1<sup>er</sup> trimestre 2021 auprès d'une centaine d'acteurs de la construction).

Troisièmement (fig. 4), enfin, le sondage a révélé que les trois seules sources de difficulté dans la création du DOE numérique sont :

- un cahier des charges BIM trop vague et mal constitué au regard de la maturité des acteurs et du projet (24 %) ;
- le manque de maturité des acteurs (54 %) ;
- le manque d'implication de la MOA (22 %).



Quelle difficulté principale rencontrez-vous lors de la réalisation des DOE numériques ?

**Fig. 4. Principales difficultés lors de la constitution d'un DOE numérique** (source : sondage réalisé sur LinkedIn au 1<sup>er</sup> trimestre 2021 auprès d'une centaine d'acteurs de la construction).

Le manque de maturité des acteurs se réglera par l'expérience et la formation. Les MOA commencent, grâce aux retours d'expérience, à percevoir la véritable valeur de l'actif numérique. Quant au cahier des charges BIM, ce thème sera abordé dans la suite de l'article (voir § 4.1 « Cahier des charges BIM : le socle de la stratégie BIM de la MOA »), car il doit constituer le véritable socle sur lequel une stratégie BIM est bâtie.



### Recommandation

**Christophe Lheureux, directeur délégué à l'innovation et au bâtiment intelligent d'Immobilière 3F**

« La réalité est qu'aujourd'hui le DOE ne sert à rien. Il est fait en toute fin de chantier par des entreprises qui râlent en le faisant et donc le font mal ; il n'est pas contrôlé par le maître d'œuvre, il est livré au maître d'ouvrage qui ne le "réceptionne" pas et qui le range, hier dans un local d'archives, aujourd'hui sur un serveur informatique où on l'oublie. Il ne sert pas à ce qu'il pourrait servir. Il ne s'agit donc pas de transposer dans l'univers du BIM quelque chose qui ne fonctionne pas. Il y a fort à parier que ça ne fonctionne pas plus, même paré des atouts de la modernité. On voit parfois des maquettes à partir desquelles on a créé des liens vers tout un tas de fichiers PDF... C'est un bel objet numérique, mais à quoi et à qui cela peut-il bien être utile ? Il convient de revenir aux fondamentaux, à la question du passage de la construction à l'exploitation, et de l'aide à la prise en main de l'ouvrage, de l'aide à la mise en service ; se poser la question des besoins pour ensuite définir la solution.

Nous prenons les sujets les uns après les autres sans essayer de sauter les étapes. Certes, cela prend du temps. Pour tout acteur, s'insérer dans un processus BIM demande de développer de nouvelles pratiques et d'acquiescer de nouveaux réflexes. Cela implique une phase d'apprentissage nécessaire. En l'état actuel de la diffusion du BIM en France, de la maturité de l'écosystème, de la disparité dans l'appropriation de cette nouvelle approche par les différents acteurs, de la performance des outils, il convient d'être pragmatique, et c'est ce que nous essayons de faire avec le dossier des produits mis en œuvre (DPMO). »

## Important

**Benoît Lecrioux, responsable BIM de Cardinal Édifice**

« Nous faisons face à deux difficultés principales. La donnée est attachée à une volumétrie 3D, mais l'intervenant qui modélise n'a pas toujours la mission et les connaissances pour compléter toute la donnée relative à ses objets. C'est surtout le cas pour la maquette [de l'] architecte, qui doit être complétée de données techniques en phase conception, et que nous alimentons de données d'exécution, *via* des tableurs, pour le DOE. S'ajoutent donc aux soucis d'interopérabilité [des] logiciels, des freins contractuels qu'il faut convaincre de lever. Enfin, si l'intérêt de la 3D n'est plus à démontrer, l'importance de la structuration et de la constance de la base de données qui y est attachée est encore méconnue et incomprise de nos entreprises sous-traitantes. Notre rôle de BIM manager nécessite alors beaucoup de pédagogie, d'accompagnement et de persévérance pour obtenir un DOE numérique utilisable en exploitation-maintenance. Un chef de projet m'a d'ailleurs récemment parlé d'abnégation pour qualifier notre mission !

On rencontre trop de BIM managers qui, une fois la synthèse terminée, ne veillent plus à la bonne conduite du projet en BIM, et ne réinterviennent qu'en toute fin de projet pour dire si la maquette est valide ou non. Le projet continue de vivre pendant toute la phase EXE et il est nécessaire d'accompagner les entreprises qui en ont besoin dans l'élaboration de leur DOE numérique. Cela fait partie des missions du BIM manager, qu'il soit externe, intégré à la maîtrise d'œuvre, ou qu'il appartienne à l'entreprise générale. Les dérives ou les incompréhensions sont plus faciles à rattraper au fur et à mesure, lorsqu'une souplesse est encore possible, plutôt qu'en une seule fois en fin de projet. Doivent alors être pris en considération les possibilités du logiciel utilisé pour proposer des solutions cohérentes avec les besoins du cahier des charges, mais aussi avec les contraintes de l'entreprise. »

## 4 Comment mettre en place une stratégie BIM pour obtenir une maquette numérique du « tel que construit » ?

### 4.1 Cahier des charges BIM : le socle de la stratégie BIM de la MOA

L'objectif de ce chapitre n'est pas de proposer un tutoriel du « parfait cahier des charges BIM », car chaque MOA a des objectifs et une stratégie qui lui sont propres. Le but est de montrer que, pour la maîtrise d'ouvrage, le cahier des charges BIM est le socle, la base de sa stratégie à long terme du déploiement et de l'utilisation du BIM.

Le cahier des charges – en anglais *Employer's Information Requirements* (EIR) – doit contenir les aspirations, les exigences et les attentes de la MOA (série des normes NF EN ISO 19650 [8]). Il détaille les objectifs attendus permettant à terme de mesurer le succès, décrit la structure de la gestion de l'information et expose les rôles et responsabilités des acteurs. Il est rédigé en règle générale par un AMO BIM en collaboration avec la maîtrise d'ouvrage. Le cahier des charges BIM est la continuité directe de la charte BIM MOA

et doit décrire de manière précise les obligations contractuelles du MOE ou de l'entreprise qui va produire ses études en BIM. Les attendus en matière de structuration de l'information seront précisés dans ce document, et en particulier la composition du DOE numérique, dans la mesure où cela répond à l'un des objectifs BIM du MOA.

## Remarque

Selon le cabinet Lex Terra Avocat [9], « La mention du cahier des charges et de la convention BIM par ces dispositions [article 4.1 du CCAG-Travaux (arrêté du 30 mars 2021 [NOR : ECOM2106871A] [2]) relatif à l'ordre de priorité des pièces contractuelles] a d'abord pour effet de leur donner une valeur contractuelle indiscutable, ce qui pour la convention est une clarification salutaire. Ensuite, l'ordre retenu fait primer le cahier des charges sur la convention, donnant un avantage au maître de l'ouvrage. D'une certaine façon, la posture règle la question de l'aval de la convention BIM par ce dernier, puisque dans tous les cas le cahier des charges primera. Il faut noter que le CCAG-MOE indique que l'offre technique du MOE (pièces écrites et graphiques) aura également priorité sur la convention BIM, qui sera à chaque fois le document de moindre importance. »

Le cahier des charges BIM doit être le plus précis et le plus exhaustif possible, car chaque manque engendre une perte de temps pour les intervenants du projet. À titre d'exemple, la société BIMtech, spécialisée en BIM et CIM (*City Information Modeling*) management, recommande que chaque cahier des charges BIM comporte *a minima* les thématiques listées dans le tableau 1.

## Recommandation

**Marco Montaño, BIM coordinateur et AMO BIM chez BIMtech**

« Nous avons l'opportunité de travailler au quotidien sur des projets de construction et nous notons le rôle central de la maîtrise d'ouvrage dans la bonne définition de la stratégie BIM du projet. En effet, il est important qu'en amont du projet, dès les phases concours, la MOA soit accompagnée par un expert BIM afin de produire un référentiel ou cahier des charges BIM stipulant la constitution du DOE numérique. Il faudra que ce référentiel définisse clairement les informations que les contributeurs doivent renseigner dans les modèles numériques, au fur et à mesure de l'avancement du projet. Il est également indispensable que la MOA, accompagnée par l'AMO BIM, ait la capacité de mettre en place des processus de contrôle et de validation de la conformité de la donnée produite par la MOE et l'entreprise, dès la phase concours jusqu'à la livraison du DOE. »

L'importance de la qualité du cahier des charges BIM peut être illustrée par la définition du niveau de détail géométrique des objets.

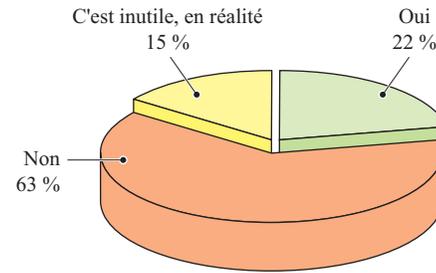
Les sondages réalisés auprès d'acteurs de la construction ont mis en lumière que pour 63 % d'entre eux, les documents BIM (cahier des charges BIM et convention BIM) ne sont pas suffisamment détaillés du point de vue des niveaux de détail géométrique (LOD/ND<sup>(8)</sup>) (fig. 5).

(8) Level of detail (« Niveau de détail »).

**Tab. 1. Thématiques du cahier des charges BIM** (source : BIMtech).

Thématique	Sous-thématique
Objet du document	– Définition du cahier des charges – Définition des objectifs attendus
Usages BIM	– Définition des usages – Usages BIM par phase – Usages par acteur
Maquettes numériques	– Maquettes du projet – IFC : arborescence et classification – Processus collaboratif autour de la maquette – Stratégie – Plateforme
Données du projet	– Codification du projet – Codification obligatoire – Géoréférencement – Codification du site – Codification des bâtiments construits – Codification des disciplines – Codification des maquettes – Codification des niveaux
Niveaux de développement	– Définitions – Application – Niveaux de développement par phase – Classifications adoptées
Contrôle qualité	– Types de contrôle – Jalons de contrôle – Réunions BIM
Livrables	– Formats – Livrables 3D et exports – Livrables 2D – Liste des livrables BIM par phase
Droits d'usage	– Propriété matérielle et propriété intellectuelle – Confidentialité des données informatiques – Données personnelles – Sécurité des données – Assurances
Responsabilités	– Responsabilité des échanges
Annexes	

Lorsqu'ils sont incomplets ou trop flous, l'application d'un cahier des charges BIM ou d'une convention BIM peut être rendue compliquée, obligeant les entreprises à faire des choix ou à prendre des hypothèses qui ne devraient pas être de leur ressort. Une documentation trop imprécise a un réel impact



**Les niveaux de détail géométrique (LOD/ND) des objets sont-ils suffisamment détaillés dans les documents BIM ?**

**Fig. 5. Niveaux des LOD et documents BIM** (source : sondage réalisé sur LinkedIn au 1<sup>er</sup> trimestre 2021 auprès d'une centaine d'acteurs de la construction).

sur l'utilisation des maquettes. Par exemple, la réalisation d'un DOE mal qualifié pourrait être plus complexe que nécessaire et finalement s'avérer inutile au regard des usages de la MOA et de l'exploitant.

### **Recommandation**

**Benoît Lecrioux, responsable BIM de Cardinal Édifice**

« Les attentes du DOE numérique doivent être très clairement décrites dans le cahier des charges BIM pour être reprises dans la convention BIM EXE. Le tableau des niveaux de développement doit être précis et ne pas faire apparaître de généralités soumises à interprétation. Indiquer "caractéristiques" dans les données attendues n'est pas suffisant, il faut préciser lesquelles et décliner les propriétés attendues par type d'élément. On n'attendra pas les mêmes informations dans une porte, dans un luminaire ou dans une centrale de traitement d'air (CTA), par exemple. C'est un travail complexe mais indispensable qui doit être fait par l'AMO BIM avec l'appui de l'équipe d'exploitation-maintenance en fonction de ses besoins ultérieurs, tout en restant raisonnable dans la quantité et la précision attendues. Il faut bien comprendre que pour une entreprise, ce travail de saisie est supérieur à ses propres besoins, et aura donc un impact sur le coût de sa prestation. Le maître d'ouvrage doit donc être conscient du rapport investissement/bénéfices que lui apportera ce DOE numérique en raisonnant sur la durée de vie globale de l'ouvrage. Ce tableau est donc une base contractuelle importante entre les intervenants du projet, car il sert à définir le coût du DOE, et permet de s'accorder sur la validité du DOE numérique transmis. »

## **4.2 AMO BIM et BIM manager : les garants de l'actif numérique**

### **Important**

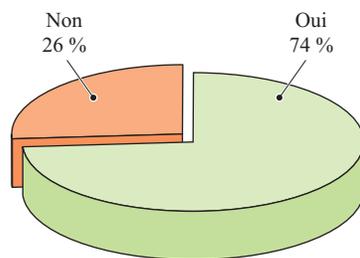
**Stanislas Taboureau, responsable d'unité, conseil BIM (AMO & GEM) chez AREP**

« Un MOA ne peut pas juste demander que son projet soit en BIM pour que tous les acteurs du projet aient une commande claire des attendus. L'AMO BIM vient donc en conseil côté MOA pour définir ces attendus et les prescrire à chaque acteur du projet, puis vérifier, pour le compte de la MOA, la qualité des différents livrables BIM. Le BIM manager vient quant à lui mettre en place les méthodes néces-

saires pour répondre aux objectifs de la MOA, alors compilés dans un CDC BIM. Sur un projet il peut y avoir plusieurs BIM manager (d'abord côté MOE, puis côté entreprise ou cellule de synthèse, par exemple), l'AMO BIM garantit donc une continuité dans la stratégie BIM du projet pour la MOA. »

L'AMO BIM et le BIM manager sont deux experts de la maquette numérique, tous deux garants de la constitution du DOE numérique BIM. Comment se déclinent leur rôle et leurs responsabilités ?

Certaines MOA ou MOE voient le rôle de l'AMO BIM comme en doublon de celui du BIM manager. Pourtant, leurs missions sont bien différentes et complémentaires, et ce à plus d'un titre. Sur cette question, les acteurs de la construction qui ont répondu à notre sondage ne s'y trompent pas : 74 % des répondants considèrent que l'AMO BIM et le BIM manager sont complémentaires dans un projet BIM (fig. 6).



L'AMO BIM et le BIM manager de l'entreprise sont-ils complémentaires dans un projet BIM ?

**Fig. 6. AMO BIM et BIM manager, des rôles complémentaires dans un projet BIM** (source : sondage réalisé sur LinkedIn au 1<sup>er</sup> trimestre 2021 auprès d'une centaine d'acteurs de la construction).

### Remarque

**Frédéric Pitel, directeur des travaux et de l'architecture du CHRU de Brest**

« Comme tout AMO, l'AMO BIM constitue une aide précieuse pour le maître d'ouvrage dès lors qu'il ne dispose pas des ressources ou des compétences suffisantes. Cela est encore plus vrai pour des montages d'opérations réalisés en marchés globaux. »

En phase de chantier, l'AMO BIM est à la maîtrise d'ouvrage ce que le BIM manager est à l'entreprise de travaux.

L'AMO BIM a pour rôle de défendre les intérêts du client, et notamment de le conseiller. Il assiste la MOA dans la prescription des exigences BIM dans son rôle de partie désignante. Il rédige le cahier des charges BIM qui stipule une obligation de résultat. L'AMO BIM a ensuite comme rôle de vérifier la bonne conformité de la convention BIM d'EXE et des maquettes numériques EXE et DOE.

Les connaissances nécessaires sont larges, et l'assistance à maîtrise d'ouvrage ne doit pas se limiter à la rédaction d'une charte et d'un cahier des charges BIM. Il doit sensibiliser son

client à l'impact financier de certains usages et demandes afin d'adapter l'exigence au plus près du besoin, d'analyser les offres reçues, de veiller au bon déroulé du processus BIM et d'accompagner le maître d'ouvrage, après la livraison, pour exploiter et mettre à jour les maquettes numériques en phase exploitation. La vision et l'implication doivent être globales pour être pertinentes.

Le BIM manager de l'entreprise coordonne quant à lui la rédaction de la convention BIM du projet, décrivant les moyens mis en œuvre par la partie désignante. Son rôle est de mettre en place et de veiller au bon déroulement du processus BIM dans le cadre du projet. Il est également garant de la bonne production des maquettes numériques EXE et de l'organisation générale de la production BIM en pilotant les référents BIM de chaque entreprise.

De ce fait, il n'y a pas de redondance dans les rôles de l'AMO BIM et du BIM manager puisqu'ils n'ont ni le même profil, ni le même but dans le projet. Ces deux acteurs travaillent donc de concert pour garantir que le DOE soit conforme aux standards du MOA. Une collaboration étroite doit donc s'instaurer entre eux pour le bien du projet et de l'actif à bâtir. En effet, la collaboration est, rappelons-le, l'un des fondements du BIM.

Face à ces nouveaux métiers et aux compétences qui ne sont pas toujours faciles à vérifier, comment bien choisir son AMO BIM et son BIM manager dans le but de garantir la bonne constitution de l'actif BIM ?

Pour retenir un AMO BIM ou un BIM manager, plusieurs points importants sont à vérifier :

- l'expérience (années d'expérience professionnelle sur des missions BIM et non BIM, références comparables liées aux typologies de projets, complexité des ouvrages, etc.) ;
- la formation (diplômes et formations à des logiciels, par exemple) ;
- la certification de personne ou d'entreprise (qualification OPQIBI<sup>(9)</sup> pour l'AMO BIM ou le BIM management, par exemple).

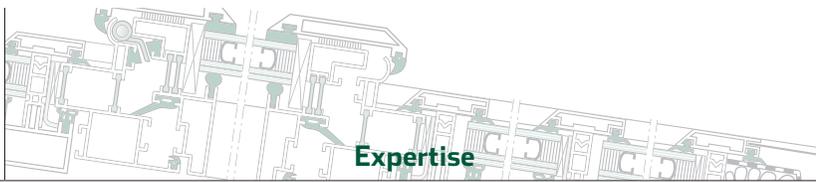
Afin de valider ces éléments, il est nécessaire de demander des pièces justificatives au moment des concours ou des appels d'offres dans le règlement de consultation : CV, références équivalentes, note d'organisation BIM.

### Remarque

**Benoît Lecrioux, responsable BIM de Cardinal Édifice**

« Si l'AMO BIM a une bonne connaissance des attentes du maître d'ouvrage, du processus BIM, des capacités et limites [des] logiciels, et des liens contractuels qui existent entre les intervenants, alors il apporte une médiation constructive pour le bon déroulement du projet et la satisfaction des parties prenantes. »

<sup>(9)</sup> Organisme de qualification de l'ingénierie.



## 5 Comment améliorer et fiabiliser les informations du DOE numérique ?

### 5.1 Fiabilisation de la géométrie



#### Important

Vincent De Veiga, coordinateur BIM et responsable synthèse chez BIMtech

« La prise en compte de la géométrie, qu'elle soit architecturale, structurelle, ou résultant des études des réseaux est un élément déterminant dans la réalisation d'un projet.

Lors des différentes phases de conception et d'exécution, nombreux sont les conflits, adaptations et solutions techniques qui vont faire évoluer le projet jusqu'au DOE. La production de ces études en processus BIM collaboratif permet d'identifier et de faire participer l'ensemble des acteurs du projet en amont des phases ; la synthèse technique et architecturale est une méthodologie qui devient incontournable sur la plupart des typologies de bâtiments.

La nécessité de l'exactitude du positionnement des réseaux ainsi que de la donnée technique lors de la restitution des DOE est fondamentale. Le DOE est la dernière version des études du bâtiment avant son exploitation. Partir de données géométriques DOE fiabilisées est important afin d'organiser et solutionner plus efficacement les adaptations et évolutions tout au long de l'exploitation du bâtiment. » (fig. 7)



Fig. 7. Maquette numérique de l'école numérique du projet « CARIVRY », montrant l'implantation des réseaux techniques (source : RRC Architectes – image réalisée par BIMtech).

La géométrie représente une partie importante de la maquette numérique BIM, car celle-ci permet de récupérer plusieurs types de données :

- les données spatiales (positionnement X, Y, Z ; le niveau, les files, etc.) ;
- les données visuelles (représentation 3D).

Il est important de comprendre que les récolements ne constituent pas une mission supplémentaire des intervenants. Ils représentent au contraire un dû de la MOE, qui doit valider les éléments des entreprises et donner son visa d'abord sur

les maquettes d'exécution, puis sur les maquettes du DOE en phase AOR (assistance apportée au maître d'ouvrage lors des opérations de réception).

Il existe aujourd'hui plusieurs technologies permettant de fiabiliser la géométrie au cours de l'avancement du chantier afin d'obtenir *in fine* une maquette numérique qui soit le reflet de la réalité du bâtiment tel que construit.



#### Remarque

Stanislas Taboreau, responsable d'unité, conseil BIM (AMO & GEM) chez AREP

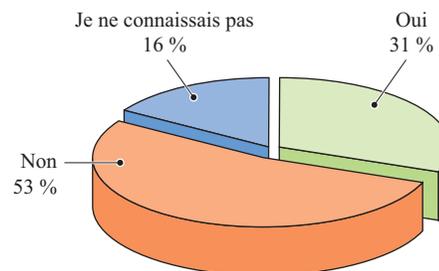
« La certification BIM "tel que construit" permet de garantir, au cours du chantier, du bon positionnement des équipements que nous ne verrons plus une fois les cloisons posées. C'est précieux pour un DOE, ça l'est encore plus pour les mainteneurs qui interviendront sur l'ouvrage, ou pour d'éventuels travaux de réaménagement. On peut également se projeter en pensant à la déconstruction de l'ouvrage et prévoir le réemploi ou le recyclage des matériaux. »

Plusieurs technologies se développent sur ce segment. Les plus utilisées sur le terrain à l'heure actuelle restent :

- le scan 3D réalisé à différents stades d'avancement du chantier, notamment à la fin du gros œuvre, avant et après la fermeture des faux plafonds afin d'obtenir un récolement des réseaux ;
- la réalité augmentée à travers une interface écran (tablette, *smartphone*) ou à travers un casque de réalité augmentée.

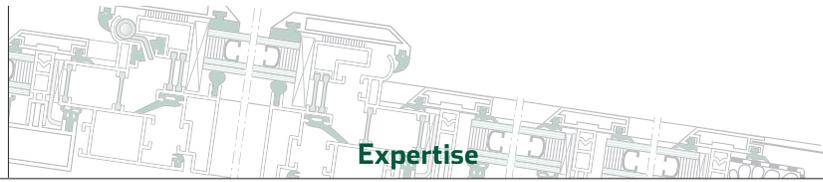
Parmi les cas d'usages courants, ces outils permettent notamment de valider le positionnement des équipements, des terminaux en faux plafond et des réservations.

Les sondages réalisés auprès d'acteurs de la construction révèlent que l'utilisation de la technologie de réalité augmentée commence à se démocratiser sur les chantiers (fig. 8) : 31 % des sondés déclarent déployer ce type de technologie pour récolement les maquettes BIM DOE avec le chantier. À l'inverse, 16 % avouent ne pas connaître encore cet usage de la réalité augmentée en fin de travaux.



Utilisez-vous la réalité augmentée pour faire le récolement entre le chantier et les maquettes BIM du DOE ?

Fig. 8. Utilisation de la réalité augmentée pour les DOE (source : sondage réalisé sur LinkedIn au 1<sup>er</sup> trimestre 2021 auprès d'une centaine d'acteurs de la construction).



### Exemple

**Éric Pelherbe, directeur commercial de Bloc in Bloc**

« La réalité augmentée est un moyen efficace de superposer *in situ* le jumeau numérique en temps réel. Les premiers retours dans le cadre de certifications “*As Built*” réalisées par Bureau Veritas avec notre solution permettent d’accroître de manière significative la qualité et le nombre d’éléments certifiés.

L’usage de la réalité augmentée est possible depuis bientôt 5 ans avec des *smartphones* ou tablettes, sans compter les casques HoloLens de Microsoft.

Si nous utilisons beaucoup la réalité augmentée en suivi de travaux, le cas d’usage du DOE numérique reste encore peu exploité chez Bloc in Bloc.

Il faut que tous les acteurs (MOA, MOE, entreprises) prennent conscience qu’il n’y aura pas de DOE numérique sans maquette numérique sur site. »

### Remarque

**Benoît Lecrioux, responsable BIM de Cardinal Édifice**

« Pour la fiabilité géométrique, la première vérification à effectuer est de s’assurer que les plans EXE soient bien issus des maquettes numériques. Dans le cas inverse, difficile d’imaginer une maquette cohérente avec les travaux réalisés sur chantier. C’est une exigence majeure qui doit apparaître dans le cahier des charges et la convention BIM. Si dans le principe, il devrait être simple de s’en assurer, dans la pratique ce n’est pas toujours si évident.

Difficile pour un BIM manager de disposer d’une licence de tous les programmes présents sur le marché du BIM. L’évaluation se fait alors par sondage en comparant la volumétrie 3D d’un objet avec les plans EXE pour déceler les éventuels écarts.

Sur chantier, le respect des études initiales fait l’objet d’un suivi quotidien par le conducteur de travaux, qui doit s’assurer que les adaptations ne nuisent pas à la coordination générale, et que celles qui sont admises feront bien l’objet d’une mise à jour de la maquette. L’usage d’une plateforme collaborative avec visionneuse IFC se généralise, et permet désormais d’envisager à court terme l’utilisation de tablettes sur chantier pour une comparaison du virtuel et du réel par l’encadrement. Les écarts relevés peuvent ainsi être compilés et illustrés par des photos *via* le format BCF<sup>(10)</sup>, et communiqués plus facilement aux bureaux d’études. Le principe est similaire à celui d’un logiciel de levée de réserves utilisé couramment, mais avec une finalité différente. Le BIM manager dispose alors également de toute la donnée pour confirmer la bonne reprise géométrique dans la maquette DOE.

Il faut reconnaître que les difficultés liées à la constitution d’un DOE numérique sont multiples. Pour ne parler que de la partie géométrique, on voit qu’aujourd’hui il n’y a pas de grande évolution dans le contrôle de l’adéquation chantier / plans ou maquette. Nous avons poussé l’usage de la réalité augmentée sur tablette pour nos autocontrôles avant coulage, mais l’expérience nous montre que le procédé ne semble pas encore assez précis pour se passer complètement d’un mètre ruban. Quant à une vérification globale pour le DOE, il me semble que les recalages nécessaires n’offrent pas un rayon d’action suffisamment important pour en faire un outil efficace. L’usage de scanners est pertinent pour l’acquisition de l’existant, mais son usage pour un contrôle DOE est très lourd à mettre en place, et est donc à réserver à des besoins où la précision centimétrique est justifiée (usine avec process, par exemple). »

(10) BIM Collaboration Format (« format de collaboration BIM »).

En résumé, retenons ces points importants pour la fiabilisation de la géométrie :

- le cahier des charges BIM doit être suffisamment précis sur la définition des niveaux de détail des objets pour pouvoir créer des indicateurs de performance et ainsi mesurer leur conformité, comme nous l’avons vu plus haut ;
- il faut mettre à disposition les maquettes BIM sur le chantier *via* l’utilisation des technologies du scan 3D ou de la réalité augmentée ;
- une convergence doit être faite entre la modélisation des objets de la maquette et le chantier ;
- il ne faut pas attendre la fin du chantier pour fiabiliser la géométrie du DOE, car une fois que les faux plafonds sont fermés, il est impossible de récoler les réseaux, par exemple.

## 5.2 Fiabilisation des données

Si l’émergence du *big data* dans le secteur de la construction est récente, elle permet déjà d’accéder à une volumétrie de données jusque-là inégalée pour améliorer la précision des connaissances financières et effectuer de meilleures prévisions. Mais elle soulève également de nouveaux défis pour stocker, protéger et fiabiliser ces informations, au regard tant du volume de données à traiter que de la variété des sources de données (IFC, PDF, Excel, fichier de modélisation natif, etc.).

Selon le site de la société MOVESOL [10], le *data cleansing* (ou « fiabilisation des données ») est une opération consistant à contrôler et améliorer la qualité des données d’un système d’information, par rapport à ses règles d’intégrité et de gestion ou celles d’un système vers lequel on souhaite migrer.

La qualité des données d’un système est souvent négligée et de nombreux motifs tendent à la compromettre.

La présence de doublons de données est fréquente, notamment sur les maquettes numériques, par manque de rigueur dans la modélisation BIM des objets ou des paramètres. Si elle est souvent subie, elle peut être parfois voulue par les utilisateurs pour contourner des limites fonctionnelles des outils de modélisation :

- détournement de certaines fonctionnalités pour l’intégration de données ;
- anomalies de données causées par des *bugs* logiciels corrigés tardivement ;
- informations incomplètes, forçage d’informations, contournement de contrôles...

Le *data cleansing* est intéressant, car les coûts engendrés par le manque de qualité des données sont loin d’être négligeables :

- coûts directs :
  - coût des correctifs par un acteur tiers après la fin du projet,
  - plantages applicatifs,
  - quantitatifs approximatifs, voire faux,
  - impossibilité de consolider des informations parfois réglementaires ;



- coûts indirects :
  - perte de productivité,
  - perte de temps,
  - prise de décision erronée basée sur des données faussées.

La fiabilisation des données doit se baser sur des référentiels de données comme le cahier des charges BIM ou la convention BIM du projet.

C'est grâce à la précision du référentiel que l'AMO BIM et le BIM manager peuvent mettre en place des processus de fiabilisation. Bien sûr, ces deux experts de la maquette numérique utilisent un large panel de logiciels pour fiabiliser les données (voir tab. 4).

Mais au-delà des logiciels et autres scripts applicatifs permettant d'automatiser le contrôle des données (codification des objets / paramètres et présence des données), il est important de s'arrêter sur les différents niveaux de données. Dans la constitution d'un DOE numérique en processus BIM, plusieurs niveaux de données sont en effet à fiabiliser :

- la présence des paramètres attendus du cahier des charges ;
- la bonne codification des paramètres ;
- l'emplacement des paramètres dans une structure et une arborescence globale (par exemple dans une catégorie et une sous-catégorie de paramètres) ;
- la présence et le remplissage des champs de paramètres ;
- la bonne codification des données renseignées ;
- la qualité de la donnée.

Le dernier point est le plus important et le plus difficile à mettre en place. Comme nous l'avons vu plus haut, l'AMO BIM et le BIM manager doivent travailler ensemble pour avoir un DOE de qualité. L'assistant à maîtrise d'ouvrage peut, *via* ses processus internes, identifier les données de mauvaise qualité, avec notamment la présence de mentions « N/A », « NC », « . » ou « RAS », qui sont régulièrement présentes dans les champs d'attribut des données. En effet, ce n'est pas parce qu'un champ de donnée est rempli que la donnée correspondante est juste, exploitable ou a de la valeur. Ce type d'irrégularité doit être remonté au BIM manager de la MOE ou de l'entreprise pour qu'il alerte l'intervenant concerné par la rectification.

Pour mettre en place un processus de fiabilisation des données, il ne faut pas attendre la fin du chantier pour constituer la maquette numérique DOE : elle doit l'être au fur et à mesure de l'avancement du projet en phase chantier.



### Recommandation

**Marco Montañó, BIM coordinateur et AMO BIM chez BIMtech**

« Le processus de contrôle et d'analyse doit être récurrent pendant toutes les phases du projet et doit être suivi par des mesures d'amélioration continue. Les principaux points de contrôle dans ce processus devraient être :

- la vérification de conformité de la convention BIM par rapport au cahier des charges BIM MOA ;

- la vérification de la qualité géométrique des maquettes numériques (géoréférencement, doublons, analyse visuelle et détection de *clash*) ;
- la vérification de la présence et de la qualité des données contenues dans les maquettes numériques.

Dans nos missions d'AMO BIM, nous avons l'habitude de produire un rapport indiquant la progression des indices de performance clés à différentes étapes du chantier. Les résultats sont discutés en réunion de revue BIM avec tous les intervenants afin d'obtenir à terme des maquettes avec des informations fiables lors de la livraison. »

La consolidation des données en fin de chantier, aussi appelée « réconciliation des données », est relative à l'unification des informations issues de sources, fichiers ou formats différents. Dans un tel contexte encore trop peu digitalisé, il est nécessaire d'effectuer un contrôle général pour détecter et supprimer les doublons, mettre à jour les données incohérentes, compléter les éléments manquants et fusionner l'ensemble des *datas* dans une base unique et structurée.

La consolidation des données élimine les risques d'erreur et donne à la MOA un gage de qualité. Les actions de gestion de données (*data management*) seront par la suite aussi simplifiées et moins coûteuses, puisque les données auront subi un processus de contrôle qualité digne de l'industrie.



### Exemple

**Benoît Lecrioux, responsable BIM de Cardinal Édifice**

« La vérification de la donnée est un processus plus rodé et plus fiable, car automatisable. Avant de scanner cette donnée, nous vérifions deux prérequis. En premier lieu, il faut s'assurer de la bonne organisation des objets dans la maquette : respect des classes IFC, des catégories et des classifications éventuelles. Ensuite, nous nous appuyons sur la demande du cahier des charges BIM pour définir ou préciser un tableau des informations attendues par typologies d'objet. Si rien n'est imposé, nous laissons à nos entreprises partenaires la liberté d'utiliser leur gabarit et de nous indiquer dans ce tableau où la donnée sera stockée, en favorisant les jeux de données déjà prévus par l'IFC ou natifs dans les logiciels de modélisation. Nous utilisons ensuite un logiciel pour paramétrer les extractions d'informations qui nous permettent d'être exhaustifs et de signaler les manquements et les anomalies. »

En résumé, il convient :

- de mettre en place des indicateurs de performance sur la base du cahier des charges ;
- de prévoir un calendrier avec des jalons de contrôle pendant la phase EXE ;
- d'analyser l'ensemble des modèles à chaque jalon pour :
  - la vérification de la qualité géométrique des maquettes numériques (géoréférencement, doublons des objets, analyse visuelle),
  - la vérification de la qualité des données contenues dans les maquettes numériques ;
- d'organiser des points de coordination réguliers avec le BIM manager et l'AMO BIM ;
- de travailler de manière itérative pour la constitution d'un produit, d'un actif numérique.

## 6 Cas d'étude : projet « CARIVRY » (Icade Promotion et Ynov Campus)

Le projet « CARIVRY », en co-promotion avec Icade Promotion et Ynov Campus, est un campus étudiant composé d'une école d'informatique et d'audiovisuel, d'une résidence pour étudiants et d'un équipement sportif à proximité immédiate de la porte d'Ivry à Ivry-sur-Seine (94).

L'école d'enseignement supérieur, réalisée par l'agence RRC Architectes, sera destinée à la formation des métiers du numérique, du cinéma et de l'audiovisuel ; elle se développe sur 6 500 m<sup>2</sup> de surface de plancher. La résidence étudiante, d'une surface de 9 200 m<sup>2</sup> environ, est composée de 367 logements étudiants, d'un logement gestionnaire et de locaux supports tels qu'un espace petit déjeuner, un espace de *coworking*, une salle de sport et une laverie. L'équipement sportif accueille une salle multisport et un dojo sur 3 400 m<sup>2</sup>.

La livraison du projet est prévue au cours de l'été 2021, avec la remise de trois DOE numériques comprenant 15 maquettes numériques (fig. 9).

Une démarche BIM a été initiée en 2017 au démarrage de la conception et elle se poursuivra pendant la phase de gestion-exploitation-maintenance en BIM sur deux des trois ouvrages.

Le projet « CARIVRY » a été nommé aux BIM d'Or en 2020 et a reçu la même année le prix des Pyramides d'Argent, catégorie « Stratégie BIM & Data », qui récompense les projets remarquables sur leurs approches du BIM et de la gestion des données.

Cette opération BIM a été pilotée en collaboration avec la société BIMtech, BIM Manager MOA et VINCI Construction OFN, BIM manager MOE/Entreprise, pour le compte d'Icade Promotion et Ynov Campus.

Dans les interviews reproduites ci-après, Séverine Miguet, directrice de programmes chez Icade Promotion (tab. 2), et Sarra Benaouda, BIM manager chez VINCI Construction (tab. 3), reviennent sur le déroulé du BIM en chantier et offrent un retour d'expérience sur la mise en place du DOE numérique.



Fig. 9. Vue générale du projet « CARIVRY » (source : RRC Architectes – image réalisée par BIMtech).



Tab. 2. Interview de Séverine Miguet, directrice de programmes chez Icade Promotion.

Questions de Rémy Navarro	Réponses de Séverine Miguet, directrice de programmes, Icade Promotion
Quel est l'objectif d'Icade Promotion dans la constitution d'un DOE numérique ?	<p>La démarche BIM chez Icade Promotion s'inscrit dans la raison d'être du groupe Icade : nous avons pour engagement de réaliser 100 % de nos programmes neufs en BIM d'ici 2022. Nous voulons accélérer la transformation digitale et l'innovation pour devenir un promoteur performant pour concevoir et construire des lieux connectés.</p> <p>Dans le cadre de nos opérations livrées en bloc à des investisseurs et exploitants, l'objectif est de pouvoir leur remettre un DOE prêt à l'emploi.</p> <p>De plus, nos clients sont de plus en plus demandeurs de remise de DOE en BIM. Certains envisagent même de faire évoluer ces maquettes en BIM gestion-exploitation-maintenance.</p>
Quel intérêt tirez-vous de la présence de l'AMO BIM du projet, en complément du rôle du BIM manager Entreprise ?	L'AMO BIM est un véritable accompagnateur du maître d'ouvrage dans cette démarche pour s'assurer de la bonne mise en œuvre de notre stratégie BIM sur chacun de nos projets. Il nous permet d'assurer le respect de nos exigences vis-à-vis du BIM manager Entreprise, que ce soit dans l'élaboration et la révision de la convention BIM ou dans les audits de données qu'il réalise sur les différentes maquettes produites.
À votre niveau, avez-vous rencontré des difficultés dans la mise en place de la démarche BIM DOE ?	<p>Ce qui est important dans la mise en place de la démarche BIM DOE est d'assurer tout au long de la phase de réalisation des études d'exécution et de la réalisation des travaux un audit régulier des maquettes produites afin de vérifier que celles-ci respectent les exigences de la convention BIM signée entre les partenaires et qu'elles soient fidèles à l'exécution <i>in situ</i>.</p> <p>À l'approche de la remise des DOE BIM, il est également important de fixer un calendrier aux différents acteurs pour la remise des éléments afin que l'AMO BIM puisse effectuer dans de bonnes conditions ces audits.</p>
Quels sont les avantages et les inconvénients du DOE numérique pour une MOA par rapport à un DOE classique ?	<p>L'un des grands avantages du DOE numérique est de pouvoir centraliser les informations au sein d'une interface unique.</p> <p>Un DOE numérique nécessite pour un utilisateur novice une formation préalable à la manipulation de la maquette afin de pouvoir en exploiter toutes les possibilités.</p>
Renouvellez-vous cette démarche sur d'autres projets et pourquoi ?	<p>Oui ! J'ai pu expérimenter le BIM sur une première opération pour la construction d'un ensemble immobilier à Ivry-sur-Seine (94).</p> <p>Cette démarche a été un vrai plus pour le projet, que ce soit en phase conception ou en phase réalisation, afin d'appréhender notamment des notions de synthèse complexe.</p> <p>Elle nous a permis aussi d'avoir un suivi rigoureux des travaux modificatifs effectués sur les différents bâtiments du projet.</p> <p>Enfin, les habitudes de nos preneurs évoluant, ils sont satisfaits qu'un DOE numérique leur soit remis à la livraison de leurs ouvrages.</p>
Selon vous, que faudrait-il faire pour améliorer la création de cet <i>asset</i> numérique ?	<p>Une mobilisation des contributeurs de la maquette numérique est essentielle dès la phase de conception. Elle doit se poursuivre en phase réalisation en collaboration avec le BIM manager de l'entreprise. C'est ainsi qu'un DOE numérique de qualité, répondant aux critères du maître d'ouvrage et à l'ouvrage réalisé, pourra être remis.</p> <p>Les audits de maquettes dès la phase conception puis lors des études d'exécution sont un point de passage important pour aboutir à un DOE numérique efficient.</p>
Selon vous, la MOE a-t-elle effectué une analyse particulière du DOE BIM réalisé par les entreprises ?	Oui, la maîtrise d'œuvre a pu effectuer une analyse du DOE numérique.



Tab. 3. Interview de Sarra Benaouda, BIM manager chez VINCI Construction.

Questions de Rémy Navarro	Réponses de Sarra Benaouda, BIM manager chez VINCI Construction OFN
<p>Quels process avez-vous mis en place pour fiabiliser la géométrie et les données pour la constitution des DOE numériques ?</p>	<p>Les maquettes numériques doivent être utiles et fiables pour la phase exploitation et maintenance. Pour cela, l'entreprise générale a mis en place plusieurs processus afin de fiabiliser l'information. Entre autres, l'utilisation de la plateforme de collaboration BIM 360 et un processus de mise à jour des modèles par rapport aux modifications en exécution.</p> <p>Le processus d'échanges sur BIM 360 a permis de travailler en étroite collaboration avec les architectes de RRC Architectes et [de] visualiser les modifications en temps réel.</p> <p>Notre équipe a également réalisé les mises à jour des modèles par rapport aux plans EXE « bon pour exécution » (BPE) dès la phase d'exécution.</p> <p>Enfin, nous avons effectué une vérification des modèles par rapport aux plans de récolement et plans DOE après exécution des ouvrages.</p>
<p>Quelles difficultés avez-vous rencontrées dans la mise en place de cette démarche ?</p>	<p>Parmi les difficultés rencontrées, le projet a vu un nombre important de modifications sur l'ensemble des zones, ce qui a nécessité beaucoup de mises à jour.</p> <p>Par ailleurs, une grande partie des plans n'était pas visée par la MOE, ce qui ne permettait pas de vérifier les modèles.</p> <p>Les sous-traitants ont fourni les plans DOE tardivement à la fin du chantier. Le client qui souhaitait recevoir les DOE numériques 2 mois avant la réception du projet a posé des difficultés à l'entreprise générale pour vérifier l'ensemble des ouvrages, sous un délai court et alors qu'une partie des ouvrages n'étaient pas encore achevés.</p>
<p>Comment le processus BIM EXE a-t-il permis d'anticiper la construction du DOE BIM ?</p>	<p>L'entreprise a anticipé la construction du DOE avec la mise à jour et la révision des modèles conformément aux modifications de la phase d'exécution. Cela a permis de réduire les incohérences entre la maquette BIM et le projet livré.</p>
<p>La notion de DOE numérique a-t-elle été bien traitée dans la convention BIM EXE ?</p>	<p>Oui, la convention BIM a traité la notion de DOE numérique sous trois volets :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– la géométrie : le niveau de détail attendu en phase DOE ;</li> <li>– l'information : le niveau d'information attendu en phase DOE ;</li> <li>– la documentation : les documents attendus à la remise du DOE.</li> </ul> <p>Remarque : l'entreprise a souhaité l'implication de l'exploitant mainteneur dès le début de la phase d'exécution. Cela aurait eu pour but de mieux cerner le niveau d'information attendu en phase GEM, mais cela n'a pas pu être possible pour le projet de « CARIVRY ».</p>
<p>Comment votre collaboration avec l'AMO BIM d'Icade et d'Ynov s'est-elle déroulée ?</p>	<p>La collaboration avec l'AMO BIM BIMtech s'est basée sur les échanges autour du projet et du besoin du client et de l'exploitant mainteneur, ce qui a facilité l'avancement du projet.</p> <p>L'AMO BIM a permis à l'entreprise de garder un lien avec les différents membres du projet de la MOA, l'exploitant mainteneur et la MOE.</p>
<p>Quels sont les avantages, selon vous, de travailler en collaboration avec un AMO BIM ?</p>	<p>L'AMO BIM joue un véritable rôle de coordination, c'est un partenaire de référence pour l'ensemble des acteurs du projet, en particulier la MOA.</p> <p>L'AMO BIM s'est impliqué sur le projet dès la phase d'études d'exécution jusqu'à la phase réception en partageant les bonnes pratiques du BIM avec l'entreprise générale.</p>
<p>Quels sont les avantages et les inconvénients du DOE numérique pour une entreprise générale ?</p>	<p>Les avantages d'un DOE numérique pour une entreprise générale sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– la facilité d'effectuer des modifications sur l'ensemble des exemplaires et d'ajouter des éléments ;</li> <li>– la possibilité de retrouver facilement les informations utiles et les incohérences ;</li> <li>– la faculté d'adresser une version unique et identique à tous les collaborateurs.</li> </ul> <p>Les inconvénients d'un DOE numérique pour une entreprise générale sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– le DOE numérique devient rapidement un document complexe qui nécessite l'implication de l'ensemble des intervenants (responsable projet, conducteurs, sous-traitants, etc.) ;</li> <li>– le délai de remise du DOE, 2 mois avant la réception du projet, ne permet pas à l'entreprise de réaliser un DOE achevé.</li> </ul>



Questions de Rémy Navarro	Réponses de Sarra Benaouda, BIM manager chez VINCI Construction OFN
<p>Selon vous, que faudrait-il faire pour améliorer la création de cet <i>asset</i> numérique ?</p>	<p>Afin d'améliorer la création du DOE numérique, il est souhaitable d'avoir une implication de l'exploitant mainteneur dès le début de la réalisation d'une maquette numérique, afin de comprendre le besoin en exploitation et maintenance. Cela permet d'anticiper la méthode de modélisation et le type d'informations à intégrer.</p> <p>À titre d'exemple : pour avoir la charge d'exploitation pour une dalle gros-œuvre (GOE), il est préférable de découper en amont les dalles pour intégrer la charge maximale appliquée – ce qui n'était pas le cas pour le projet de « CARIVRY ».</p> <p>Une autre idée d'amélioration serait l'utilisation du scan 3D par l'entreprise pour mieux positionner les ouvrages en phase DOE et adresser au client un DOE numérique proche de la réalité.</p> <p>Enfin, la mise en place d'un document de bonnes pratiques de modélisation par la MOA serait utile afin d'uniformiser le langage des modèles BIM.</p>

En résumé, ce retour d'expérience a mis en lumière qu'il est nécessaire :

- de prévoir une démarche collaborative BIM sur l'ensemble du cycle de vie de l'ouvrage afin d'en tirer un maximum de bénéfices ;
- de rendre contractuelle la production d'un DOE numérique ;
- d'être accompagné par un AMO BIM expérimenté et un BIM manager compétent ;
- de prévoir un audit régulier des maquettes produites afin de vérifier que celles-ci respectent les exigences de la convention BIM dans un processus d'amélioration continue ;
- de fixer un calendrier aux différents acteurs pour la remise des éléments afin que l'AMO BIM, l'entreprise générale et le BIM manager puissent effectuer dans de bonnes conditions ces audits ;
- de vérifier les modèles par rapport aux plans de récolement et aux plans DOE après exécution des ouvrages ;
- de renforcer une collaboration étroite entre la MOE, l'entreprise générale, l'AMO BIM et la MOA pour faciliter la fiabilisation du DOE en démarche BIM ;
- d'impliquer l'exploitant mainteneur dès le début de la phase d'exécution.

## 7 Le DOE numérique est-il adapté pour faire de l'exploitation-maintenance ?

La maquette DOE – ou maquette numérique des ouvrages exécutés (MNOE) – complète le DOE mais ne le remplace pas. Elle constitue les données d'entrées principales pour réaliser la maquette numérique d'exploitation-maintenance (MNEM). Une différence significative doit être faite entre la MNOE et la MNEM. N'ayant pas la même utilisation, ces deux maquettes contiennent en effet des informations complémentaires.

La MNOE, figée dans le temps, est garante des informations liées à l'ouvrage réalisé. Le DOE numérique produit en processus BIM n'est pas mis à jour par le MOA ou l'exploitant et a une valeur contractuelle ; il est donc archivé.

La MNOE est utile pour conserver l'historique des travaux passés et des informations spécifiques propres au DOE. Elle n'a pas de nécessité à être utilisée à tout moment de la phase d'exploitation. Elle permet de garantir la traçabilité des opérations de travaux exécutés et fournit les données d'entrée pour les travaux futurs.

Au contraire, la MNEM est utilisée pour les activités courantes de la phase d'exploitation. Cette maquette est mise à jour régulièrement à mesure que le site évolue. Si elle comporte beaucoup d'informations analytiques, elle n'a toutefois pas besoin de bénéficier d'un niveau de détail graphique élevé.

Il faut donc prescrire le DOE BIM pour qu'il soit facilement transformable pour le BIM GEM, sans avoir à retravailler les livrables pour les intégrer.

Le cahier des charges BIM doit donc prendre en considération les outils de la phase de gestion-exploitation-maintenance (GMAO, GTB, etc). La plupart des acteurs comprennent alors l'importance stratégique de ce document dans la chaîne de valeur.

## 8 Boîte à outils pour constituer un DOE numérique

Le tableau 4 propose une boîte à outils numériques correspondant aux outils les plus couramment utilisés pour la constitution des DOE numériques en process BIM (tab. 4).

**Tab. 4. Boîte à outils BIM pour la constitution d'un DOE numérique** (liste non exhaustive).

Usages	Éditeur	Logiciel
– Conception infrastructure – Tracé routier – Terrassement – Aménagements urbains – VRD – Tracé ferroviaire	Autodesk	– Revit – Civil 3D – InfraWorks
	Trimble	– Plancal Nova – Tekla
	Nemetschek	Allplan
	Abvent	Archicad
	ACCA software	Edificius
	Geomédia	Covadis
	Mensura	Geomensura
	Rhinoceros	Rhino
Traitement des données	Datacubist	Simplebim
	Nemetschek	Solibri Model Checker
	Autodesk	Dynamo
	Rhinoceros	Grasshopper
	BIM&CO	Onfly
Plateforme et technologies de réalité augmentée	Geodesial	Bloc in Bloc
	Horus BIM	IARA
	Piro Cie	BIM Extend
	Dalux	TwinBIM
Plateforme et visionneuse collaborative et de coordination	Autodesk	BIM 360
	Vizerra	Revizto
	WizzCad	WizzProject
	Catenda	Bimsync
	CSTB	– eveBIM – KROQI
	BIM One	BIM Track
	Prosys	Mezzoteam
	Bimeo	DATAtoBuild
	BIMData	BIMData.io
	Axxone	AxeoBIM
Trimble	Trimble Connect	
Plateforme de gestion de patrimoine et d'exploitation maintenance	Stereograph	Teia
	Data Soluce	Data Soluce
	BIMData	BIMData.io
	SpinalCom	SpinalBIM

## 9 Références

- [1] Cf. <https://cobuilder.com/fr/parlons-de-doe-numerique>.
- [2] Arrêté du 30 mars 2021 [NOR : ECOM2106871A] portant approbation du cahier des clauses administratives générales des marchés publics de travaux, *JO* du 1<sup>er</sup> avril 2021, dernière modification par arrêté du 21 avril 2021, *JO* du 30 avril 2021.
- [3] NF P 03-001 (octobre 2017 – indice de classement : P 03-001) : Marchés privés – Cahiers types – Cahier des clauses administratives générales applicable aux travaux de bâtiment faisant l'objet de marchés privés.
- [4] Arrêté du 30 mars 2021 [NOR : ECOM2106877A] portant approbation du cahier des clauses administratives générales des marchés publics de maîtrise d'œuvre, *JO* du 1<sup>er</sup> avril 2021, dernière modification par arrêté du 21 avril 2021, *JO* du 30 avril 2021.
- [5] D. Errard, « Le BIM dope le coût global », *Le Moniteur*, n° 5765, 23 mai 2014, p. 10, <https://www.lemoniteur.fr/article/le-bim-dope-le-cout-global.1386774>.
- [6] J. Nicolas, « Le Conseil régional de Bourgogne gère son patrimoine avec la maquette numérique », *Le Moniteur*, 21 octobre 2013, <https://www.lemoniteur.fr/article/le-conseil-regional-de-bourgogne-gere-son-patrimoine-avec-la-maquette-numerique.1036009>.
- [7] Cf. <https://buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/comprendre-format-ifc/>.
- [8] Série des normes NF EN ISO 19650 :
- NF EN ISO 19650-1 (décembre 2018 – indice de classement : P 07-302-1) : Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) – Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction – Partie 1 : concepts et principes.
- NF EN ISO 19650-2 (décembre 2018 – indice de classement : P 07-302-2) : Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) – Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction – Partie 2 : phase de réalisation des actifs.
- NF EN ISO 19650-3 (août 2020 – indice de classement : P 07-302-3) : Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) – Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction – Partie 3 : phase d'exploitation des actifs.
- NF EN ISO 19650-5 (juillet 2020 – indice de classement : P 07-302-5) : Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM) – Gestion de l'information par la modélisation des informations



de la construction – Partie 5 : approche de la gestion de l'information axée sur la sécurité.

[9] D. Richard, « Nouveaux CCAG : une reconnaissance légale du BIM à la portée non négligeable », *Lex Terra Avocat*, 15 avril 2021, <https://www.lexterraavocat.fr/nouveaux-ccag-bim.html>.

[10] Cf. <https://movesol.com/nos-solutions/migration/data-cleansing-fiabilisation-de-donnees/>.



### Important

Les auteurs remercient les interviewés : Sarra BENAUDA, Florent DAUMAS, Vincent DE VEIGA, Benoît LECRIOUX, Christophe LHEUREUX, Séverine MIGUET, Marco MONTAÑO, Éric PELHERBE, Frédéric PITEL, Stanislas TABOUREAU.



### En savoir plus

Les sites suivants ont été consultés pour la rédaction de l'article :

<https://www.abcdblog.fr/>  
<https://www.architectes.org/>  
<https://www.bimbtp.com/>  
<http://www.blog-logiciel-btp.com/>  
<https://buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/>  
<https://cobuilder.com/fr/>  
<https://www.doe3d.fr/>  
<https://gr-bim.fr/>  
<https://www.hexabim.com/>  
<https://www.lemoniteur.fr/>  
<https://www.lexterraavocat.fr/>  
<https://movesol.com/>  
<https://plan-bim-2022.fr/>  
<https://villagebim.typepad.com/>