

CONCOURS INTERNE D'INGÉNIEUR TERRITORIAL

SESSION 2021

ÉPREUVE DE PROJET OU ÉTUDE

ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ :

L'établissement d'un projet ou étude portant sur l'une des options, choisie par le candidat lors de son inscription, au sein de la spécialité dans laquelle il concourt.

Durée : 8 heures
Coefficient : 7

SPÉCIALITÉ : INFORMATIQUE ET SYSTÈMES D'INFORMATION

OPTION : SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE, TOPOGRAPHIE

À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :

- ♦ Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif dans votre copie, ni votre nom ou un nom fictif, ni initiales, ni votre numéro de convocation, ni le nom de votre collectivité employeur, de la commune où vous résidez ou du lieu de la salle d'examen où vous composez, ni nom de collectivité fictif non indiqué dans le sujet, ni signature ou paraphe.
- ♦ Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez impérativement utiliser une seule et même couleur non effaçable pour écrire et/ou souligner. Seule l'encre noire ou l'encre bleue est autorisée. L'utilisation de plus d'une couleur, d'une couleur non autorisée, d'un surligneur pourra être considérée comme un signe distinctif.
- ♦ L'utilisation d'une calculatrice électronique programmable ou non-programmable sans dispositif de communication à distance n'est pas autorisée.
- ♦ Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.
- ♦ Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

Ce sujet comprend 61 pages dont 2 annexes.

Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend le nombre de pages indiqué.

S'il est incomplet, en avertir le surveillant

- ♦ Vous répondrez aux questions suivantes dans l'ordre qui vous convient, en indiquant impérativement leur numéro.
- ♦ Vous répondrez aux questions à l'aide des documents et de vos connaissances.
- ♦ Des réponses rédigées sont attendues et peuvent être accompagnées si besoin de tableaux, graphiques, schémas...

Vous êtes ingénieur territorial chargé de l'acquisition, de la gestion et de l'exploitation des données référentielles 3D au sein du service Information géographique mutualisé d'une communauté d'agglomération (INGECO) de 200 000 habitants et de la ville centre (INGEVILLE) de 140 000 habitants. Votre hiérarchie vous demande de mener une réflexion sur le BIM (Building Information Modeling) à l'occasion du projet de conception et de construction d'un équipement public culturel intercommunal que la direction des projets d'équipements publics va conduire. En effet, cette direction sollicite le service Information géographique, transverse, afin de l'accompagner dans sa réflexion relative à la transition numérique et l'optimisation de ses pratiques, la maîtrise des coûts et la réponse aux enjeux environnementaux.

Le responsable du service Information géographique vous demande de répondre aux questions suivantes :

Question 1 (3 points)

Vous exposerez les concepts et les enjeux du BIM. Vous en détaillerez les bénéfices et les points de vigilance associés.

Question 2 (2 points)

Dans une note, destinée à votre hiérarchie, vous expliquerez pour quels usages et comment le BIM et le SIG peuvent converger, en intégrant l'apport de l'IoT. Vous indiquerez également les points de vigilance associés.

Question 3 (4 points)

Vous présenterez les grandes étapes à mener pour engager une démarche BIM dans le cadre de la conception et de la construction de l'équipement public culturel intercommunal d'INGECO. Vous vous attacherez à expliciter les rôles de chaque intervenant, en particulier d'INGECO, les documents de cadrage nécessaires à chaque étape et les prérequis en termes de données.

Question 4 (6 points)

a) Vous proposerez un argumentaire visant à étendre le processus BIM à l'ensemble du patrimoine bâti de la collectivité en distinguant les futurs équipements et le patrimoine existant. (2 points)

b) Vous expliquerez en quoi la mise en œuvre d'un ECD (environnement commun de données) est une étape clé pour la mise en œuvre du BIM. (2 points)

c) Vous présenterez, de façon synthétique, les impacts organisationnels associés à la mise en place de ce processus BIM. (2 points)

Question 5 (5 points)

Dans le cadre du marché de maîtrise d'œuvre de l'équipement culturel votre responsable vous demande de rédiger les articles du cahier des charges relatifs aux livrables BIM attendus en phase conception/construction :

- Données fournies au titulaire ;
- Livrables BIM ;
- Organisation de la maquette BIM (format, géoréférencement, arborescence spatiale, ...) ;
- Niveaux de définition.

Liste des documents :

- Document 1 :** « « Des jumeaux numériques » pour impliquer les citoyens dans la prise de décision » – Commission Européenne – *Cordis.fr* - 24 Septembre 2020 – 2 pages
- Document 2 :** « Le jumeau numérique au service du réel » – Béatrice Gasser, EGIS – *egis.fr* – 7 septembre 2020 – 2 pages
- Document 3 :** « Jumeau numérique : quand la maquette 3D devient intelligente » (extrait p 22 à 27) – Christophe Guillemin, Smart City Mag – *smartcitymag.fr* – Avril 2020 – 6 pages
- Document 4 :** « Le partenariat Esri et Autodesk : une avancée pour la convergence BIM/SIG » – Roy – *Veille carto 2.0* – 6 octobre 2020 - 2 pages
- Document 5 :** « BIM : des processus autour d'un projet commun » – *BuildingSmartFrance.fr* – consulté le 25 janvier 2021 – 6 pages
- Document 6 :** « Guide de recommandation à la maîtrise d'ouvrage » (extrait) – Plan Transition Numérique dans le Bâtiment – *ecologie.gouv.fr* – Juillet 2016 – 19 pages
- Document 7 :** « Définissez l'environnement commun de données » – Jérôme Cornu – *openclassroom.com* – 9 octobre 2018 – 4 pages
- Document 8 :** « Le temps de la convergence entre le BIM et IoT pour des bâtiments » Plateformes de services » ou « smart building » ? » – Christian Sabrié – *engie-axima.fr* - Mars 2018 – 2 pages
- Document 9 :** « Définissez les niveaux de développement par phase de projet » – *Openclassrooms.com* – Jérôme Cornu – 9 octobre 2018 – 4 pages
- Document 10 :** « Comment intégrer le BIM dans un projet de construction » – Anthony Cappellaro – *Advitus-technologies.com* – 12 mai 2020 – 5 pages
- Document 11 :** « Géolocalisation et géoréférencement d'un projet Revit » – Safi Hage – *knowledge.autodesk.com* – 20 novembre 2017 – 3 pages
- Annexe 1 :** « Présentation du contexte » – *INGECO* – 2021 – 1 page
- Annexe 2 :** « Présentation technique du SIG » – *INGECO* – 2021 – 1 page

Documents reproduits avec l'autorisation du CFC

Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.

DOCUMENT 1

Des « jumeaux numériques » pour impliquer les citoyens dans la prise de décision

Des chercheurs financés par l'UE présentent leur plan d'action pour un processus décisionnel urbain collaboratif et basé sur les données.

Les villes d'aujourd'hui sont confrontées à de nombreux défis lorsqu'il s'agit de faire bon usage de leurs données. La mauvaise qualité des données, les données inexactes, incomplètes ou obsolètes et le faible niveau de connaissances sur les données sont autant de facteurs qui rendent difficile une interprétation significative de celles-ci. Ajoutez à cela un manque de puissance de calcul de haut niveau, une dépendance excessive aux techniques d'analyse traditionnelles et une éthique insuffisante en matière de données, et vous comprendrez pourquoi les progrès vers une prise de décision et une élaboration de politiques fondées sur les données et la collaboration ont été entravés. «En dépit des avancées réalisées sur le plan de la capture et de la gestion des données, seuls 12 % des données relatives aux villes sont utilisées dans le cadre de l'élaboration de politiques», affirment les auteurs d'un livre blanc intitulé [«Change the way you see the city»](#) (ou «Changez la façon dont vous voyez la ville»). Publié dans le cadre du projet DUET, financé par l'UE, le livre blanc décrit les obstacles qui entravent la réalisation d'avancées dans ce domaine. Il présente également la triple approche du projet face à ce problème.

Jumeaux numériques

Le premier objectif décrit est de donner accès à la puissance de calcul nécessaire, l'équipe du projet promouvant à cet effet une nouvelle approche partagée pour l'utilisation du calcul haute performance dans l'élaboration des politiques et la gestion des villes. Pour ce faire, on utilisera un jumeau numérique, «la copie numérique d'actifs physiques, de systèmes et de processus du monde réel qui apprend en continu et peut être interrogée pour atteindre des résultats spécifiques». Grâce à ses capacités technologiques avancées, le jumeau numérique permettra d'expérimenter des politiques en toute sécurité dans une réplique de ville. Comme indiqué dans le livre blanc, il «fournit un environnement d'expérimentation sans risque pour informer les parties prenantes sur la façon d'utiliser ces actifs dans le monde réel afin d'obtenir les résultats politiques à long terme les plus performants et de prendre les décisions opérationnelles à court terme les plus performantes».

Des données intelligibles

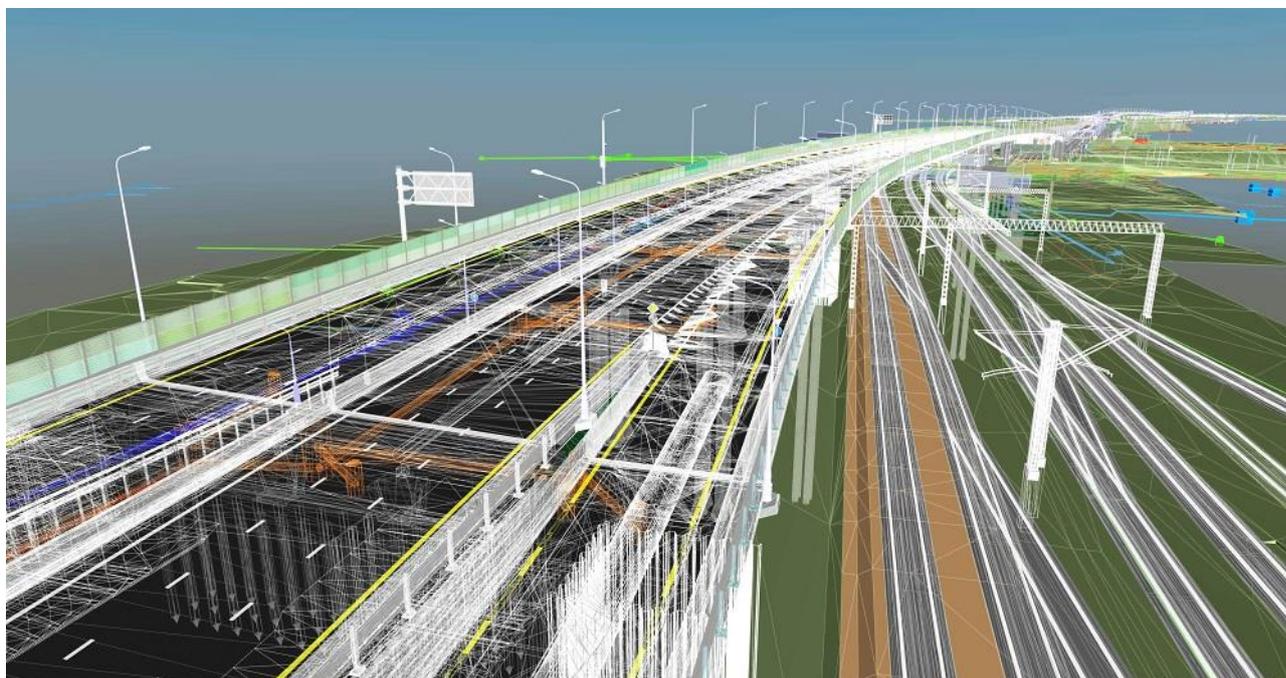
Le deuxième objectif consiste à faciliter la compréhension des données. Si l'on veut que les citoyens aient confiance dans les données utilisées pour la prise de décision démocratique, ces données doivent être présentées dans un format facile à comprendre. Ce n'est pourtant pas le cas sur la plupart des plateformes de visualisation actuelles. «DUET est différent car il fournit une interface 3D pour ses jumeaux numériques en plus d'une offre 2D», font remarquer les auteurs. En se promenant dans les quartiers urbains virtuels en 3D du projet, des personnes de tous horizons pourront visualiser des données dynamiques facilement compréhensibles provenant de nombreuses sources. «Par exemple, la qualité de l'air sera indiquée au moyen de couleurs, les embouteillages routiers sous forme de lignes, les sites d'incidents sous forme d'icônes, etc. Cette manière simple et agréable de visualiser la ville à travers de multiples sources de données intégrées met en lumière les impacts tangibles et systémiques des options politiques, l'expérimentation de différents scénarios révélant les qualités créatives et innovantes de tous les participants.» La dernière approche consiste à établir des principes éthiques pour des décisions basées sur les données. Puisque le jumeau

numérique permet aux utilisateurs d'explorer l'impact d'une politique non pas sur un ou deux quartiers, mais sur une ville entière, le projet favorisera une utilisation plus responsable des données. «Pour illustrer les impacts, par exemple, des décisions relatives au tracé des routes sur la mobilité, la qualité de l'air et la santé, le jumeau numérique fournit une version/réplique de la ville que tous peuvent utiliser comme base de référence fiable pour étudier l'impact systémique des décisions.» Les jumeaux numériques du projet DUET (Digital Urban European Twins for smarter decision making) seront testés dans trois lieux: Athènes, la région flamande en Belgique, et Pilsen. Le recours à des jumeaux numériques nous rapproche de la vision du projet de «villes réactives» dans lesquelles tous les citoyens prennent part à la prise de décision, comme indiqué sur le [site web du projet](#).

DOCUMENT 2

Le jumeau numérique au service du réel

Représentation vivante de l'ouvrage « tel qu'il fonctionne » et non plus seulement « tel que construit », le jumeau numérique va au-delà de la simple maquette 3D, en simulant et prévoyant de manière dynamique les différents comportements d'un ouvrage physique, à toutes les étapes de son cycle de vie. Décryptage de cet outil virtuel en plein essor.



- Crédits : © black_mts - Thinkstock

Le concept de maquette numérique est désormais compris du plus grand nombre. Mais qu'en est-il du jumeau numérique ? Selon le groupe national de recherche MINnD¹, qui travaille à la structuration des données des projets depuis 2014 et dont Egis est un membre actif, ce nouveau concept désigne la « représentation numérisée d'un ouvrage physique, utilisée principalement pour les besoins de son exploitation et de sa maintenance, et qui évolue au fur et à mesure des modifications, des rénovations, de l'exploitation, de la maintenance de l'ouvrage réel. »

Ainsi, à la différence de la maquette qui ne donne qu'une vision statique de l'ouvrage, le jumeau, lui, établit un couplage en temps réel entre les mondes physique et numérique grâce à la synchronisation permanente des données fournies par les objets connectés sur le terrain. En effet, grâce à l'intelligence artificielle des objets (IoT), il permet de faire de la maintenance prédictive, c'est-à-dire de prévoir les incidents structurels d'un ouvrage. En phase de conception ou de construction, cela se traduit par le fait de pouvoir voir, sous une forme dynamique, comment se comporte l'ouvrage lors de la mise en œuvre en chantier (déformations, tassements, ...). En phase d'exploitation, le jumeau va aussi donner aux ingénieurs les moyens de vérifier, par exemple, comment l'édifice continue de vivre dans son environnement, de déterminer l'ampleur des travaux de rénovation, ou encore de savoir quels problèmes de sécurité pourraient survenir à l'avenir, de sorte que la qualité de service de l'ouvrage, mais aussi sa rentabilité économique, sont optimisées tout au long de sa vie.

Du nécessaire dialogue entre BIM et SIG

Pour qu'un jumeau numérique soit performant, il faut réussir à faire converger les informations techniques issues de la maquette numérique, essentielles à la conception et à la construction des structures, et les données spatiales provenant des systèmes d'information géographique (SIG), utiles à la planification et à l'exploitation des ouvrages et infrastructures dans leur contexte environnemental. Or, les données des SIG s'appliquent à l'échelle d'une ville ou d'un territoire, tandis que les données BIM, elles, se rattachent à une structure spécifique. Fusionner ces deux échelles devient alors la sacro-sainte quête de tous les ingénieurs !

"L'ETABLISSEMENT D'UN PONT ENTRE LE SIG ET LA BIM AMELIORERA SENSIBLEMENT LES METHODES POUR PLANIFIER, CONCEVOIR ET PREPARER LES CONSTRUCTIONS DE DEMAIN."

Pourquoi cette convergence est-elle si importante ? Parce qu'en centralisant ainsi les données dans un socle numérique commun, nous pouvons avoir une connaissance beaucoup plus fine dans la gestion des actifs, nous sommes en mesure d'influencer avec pertinence l'emplacement, l'orientation et même les matériaux de construction d'une structure et donc, d'optimiser la conception, d'accélérer la validation des projets, de réduire les coûts, de créer des villes plus intelligentes et des infrastructures résilientes.

Une prise de décision fiabilisée

Représentations en 3D, expériences immersives, gestion et surveillance en temps réel des ouvrages... autant d'atouts susceptibles d'intéresser les clients. Le jumeau numérique présente les projets techniques et architecturaux, mais simule aussi les usages, les flux, les besoins... Cette vision systémique permet de fonder sa prise de décision sur des données plus fiables car mieux vérifiées et donc, d'éviter les erreurs, les délais, les accidents et les surcoûts en phases de construction et d'exploitation.

Avec le jumeau, on peut aussi réduire l'empreinte carbone globale d'un projet. C'est le cas, par exemple, pour le quartier durable Bruneseau à Paris 13^e, dont nous gérons toute la conception. Ici, le jumeau nous a permis de jouer sur différents paramètres durant la conception (position des bâtiments, matériaux utilisés, systèmes d'énergie intégrés) et de trouver le meilleur scénario possible pour atteindre notre objectif : diminuer par cinq les émissions de CO₂.

Enfin, le jumeau est un bon moyen de renforcer l'acceptabilité des projets, en particulier par le recours aux réalités virtuelle et augmentée. Présenter visuellement les avancées, simuler les impacts de l'ouvrage dans son environnement, immerger virtuellement l'utilisateur dans le projet futur, en permet une meilleure appropriation par les parties prenantes, les scénarii deviennent concrets et facilitent la prise de décision. En somme, le numérique tend à abolir la frontière entre le virtuel et le réel, pour se mettre service des hommes et de leurs besoins. Et c'est bien là, au fond, la véritable plus-value que nous recherchons tous au travers de ces progrès technologiques !



Issu de l'industrie du futur, le... dans l'univers de la smart city... à la décision qui facilite la plan... pour le marketing territorial. M... rizon des technologies perme

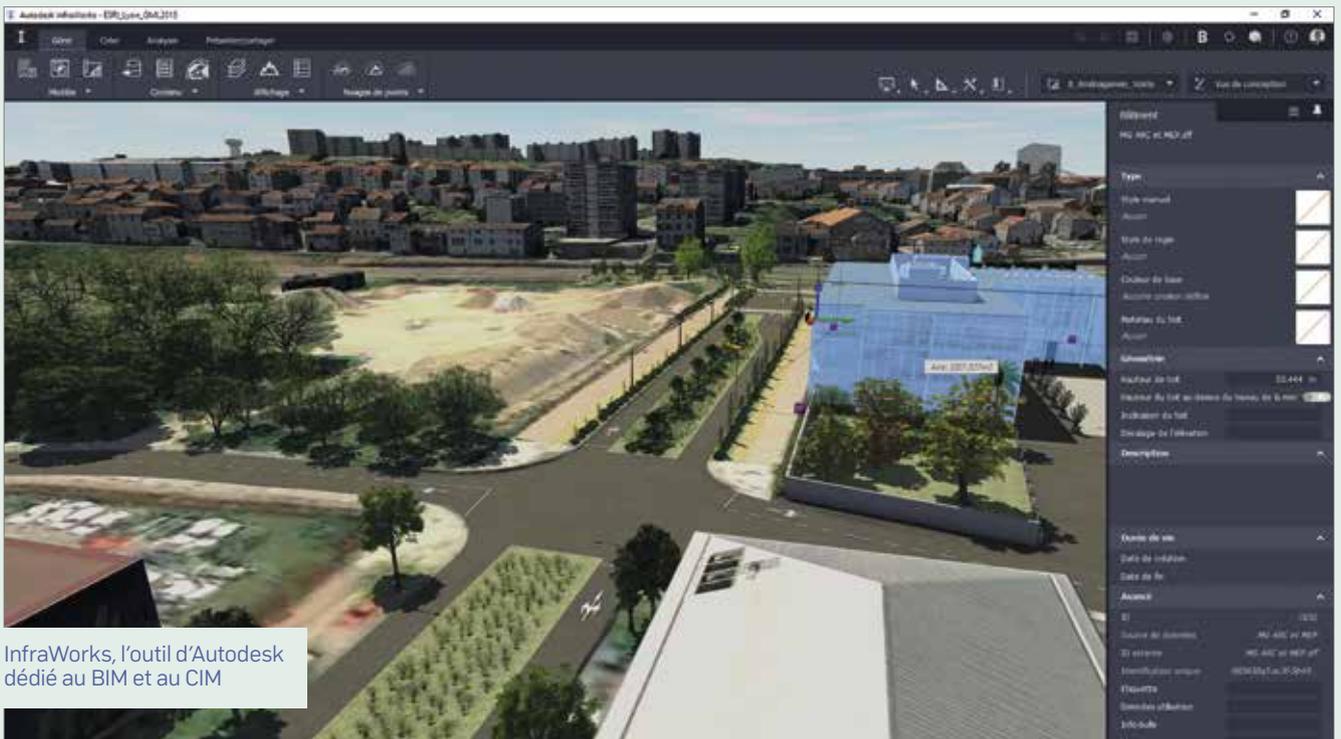
JUMEAU NUMÉRIQUE

Quand la maquette 3D devient intelligente



Le concept de jumeau numérique se décline aujourd'hui dans le monde de la smart city. Cette réplique virtuelle du territoire est un outil d'aide à la planification urbaine. Il sert également de support innovant pour la communication. Mais la plupart des usages restent à inventer. Tour d'horizon des usages existants et de ce qu'il faut attendre de construire son "digital twin". **CHRISTOPHE GUILLEMIN**

RIQUE



InfraWorks, l'outil d'Autodesk dédié au BIM et au CIM

➔ Représenter un territoire en 3D afin d'en simuler le fonctionnement. Tel est le principe du jumeau numérique. Plus d'une dizaine de villes françaises disposent déjà d'un "Digital Twin", dont Rennes, Lyon, Bordeaux ou Le Havre. « Depuis moins de deux ans, les projets de jumeaux numériques se multiplient. Cette dynamique coïncide avec le développement des objets connectés et des capteurs environnementaux », observe Laurent Bouillot, CEO de Siradel, société spécialisée dans la modélisation 3D des territoires.

Pourquoi cet engouement ? Car le jumeau numérique dépasse le concept de maquette 3D en allant au-delà de la représentation en surface des bâtiments, routes et autres ouvrages. Il intègre des données pour "faire vivre" le modèle 3D, telles que la circulation routière, la consommation énergétique des bâtiments, l'état des réseaux d'eau ou d'énergie, sans oublier des indicateurs environnementaux comme la température, la qualité de l'air ou le bruit, collectés par des capteurs. « Contrairement à la maquette numérique, qui donne une vision statique couvrant le "tel que conçu" et le "tel que construit", le jumeau numérique offre un rendu dynamique, en couvrant le "tel qu'il fonctionne" », résume Béatrice Gasser, directrice Technique, Innovation et Développement Durable du groupe d'ingénierie et de conseil Egis.

Aide à la décision et marketing territorial

Quels sont les principaux usages d'un clone digital pour une collectivité ? Le premier est la planification urbaine. Le digital twin facilite le choix entre différents scénarios d'aménagements, grâce à des études d'impacts. Il est par exemple possible de simuler l'impact d'un nouveau rond-point sur la circulation routière, la pollution, les déplacements de piétons ou même sur les nuisances sonores. « Nous avons travaillé sur le réaménagement des 50 hectares entourant la tour Eiffel à Paris. Un modèle 3D a été construit en intégrant des véhicules, avec une simulation de leurs comportements. Cela a permis d'évaluer différents projets d'architectes,



Dassault Systèmes propose 3DEXPERIENCE City, un outil avec de nombreuses fonctions de travail collaboratif.

en analysant notamment leur impact sur les déplacements », explique Simon Dumoulin, directeur du département Transport et Aménagements Urbains chez Ingérop, groupe français d'ingénierie et bureau d'études techniques.

Le clone virtuel d'un territoire peut également être utilisé à des fins de marketing territorial, pour présenter des projets aux habitants. « Se déplacer dans la maquette virtuelle à hauteur de piéton parle plus aux habitants que la maquette carton ou les schémas 2D », indique Manuel Plane, chef de projet SIG 3D BIM à la métropole de Lyon (lire encadré).

D'autres usages sont évoqués comme le "phasage" des travaux, le suivi de performances énergétiques ou la gestion de risques (simulation d'inondations). « Les usages sont en cours de développement, nous en sommes au tout début », souligne Gwenaël Bachelot, senior manager South Europe AEC Technical Sales Specialists chez Autodesk, éditeur américain de logiciels de conception 3D.

BIM, CIM et SIG : les bases du jumeau numérique

Que faut-il pour construire le clone virtuel d'un territoire ? « Il n'y a pas d'offre sur étagère », prévient Gwenaël Bachelot

JUMEAUX NUMÉRIQUES 3D

Ensemble, créons un territoire
durable et intelligent.



PLATEFORME COLLABORATIVE



Constructeur de Jumeaux Numériques 3D des villes, **SIRADEL** développe une plateforme collaborative pour aider les élus et les collectivités à aménager leur territoire.

- **TRANSFORMER** un territoire en considérant l'ensemble des enjeux : écologie, mobilité, énergie, économie, résilience, connectivité, bien-être urbain.
- **DÉCIDER** de manière éclairée et concertée en comparant virtuellement l'impact des différentes solutions envisagées.
- **OPTIMISER** les infrastructures en réalisant des gains opérationnels grâce à la planification inclusive et à la mutualisation des moyens.
- **PROMOUVOIR** le territoire et ses projets de transformation. Les **PARTAGER** avec les citoyens et les acteurs urbains.

www.siradel.com



Le marketing territorial : point de départ pour le Grand Lyon

Depuis 2012, la métropole de Lyon a entamé la modélisation 3D de son territoire, d'abord à des fins

de marketing territorial. « Nous souhaitons communiquer, de manière innovante, auprès du

secteur de l'immobilier afin de mettre en avant le territoire, les projets et opportunités foncières pour les entreprises recherchant des implantations », explique Manuel Plane, chef de projet SIG 3D BIM. Depuis, plus de 250 000 bâtiments ont été modélisés

et plusieurs couches de données contextuelles ont été ajoutées, comme les infrastructures de transport. Le principal usage de la modélisation 3D du Grand Lyon est aujourd'hui la planification urbaine. « Nous avons par exemple présenté aux élus la rénovation d'une place avec quatre scénarios possibles, élaborés dans le cadre d'un concours d'architectes. Ils ont pu faire leur choix de manière objective en se plongeant dans le projet d'aménagement grâce à l'immersion 3D », souligne Clément Jame, ingénieur donnée. La modélisation 3D est aussi régulièrement utilisée dans le cadre des travaux sur le plan local d'urbanisme et de l'habitat. Parmi les projets à venir : ajouter la végétation, les réseaux en sous-sol et cartographier les îlots de chaleur. Côté budget, le jumeau numérique du Grand Lyon a coûté près d'un demi-million d'euros depuis 2012, hors coûts humains.

d'Autodesk. Il faut donc combiner diverses solutions. Mais la brique de base reste le BIM (Building Information Modeling) qui permet de modéliser les bâtiments. Et chaque bâtiment peut déjà bénéficier de son propre jumeau numérique. C'est le positionnement de la start-up Wizzcad. « Notre plate-forme BIM sert à réaliser un jumeau numérique qui sera le cerveau digital du bâtiment. Il intègre notamment les matériaux utilisés pour sa construction, ainsi que les réseaux d'énergie, de chauffage ou d'eau », explique Cyril Perrin, co-fondateur et CEO de la jeune pousse.

Avec plusieurs modèles BIM, il est possible de passer au CIM (City Information Modeling), déclinaison du BIM à l'échelle d'un territoire. Le principe est alors d'ajouter des éléments tels que les routes, les végétaux, le mobilier urbain... en combinant divers outils de modélisation 3D. C'est ce que propose notamment Autodesk. Son logiciel Revit, plate-forme de BIM, peut ainsi être combiné avec InfraWorks, outil de conception 3D d'infrastructures (routes, ponts, tunnels...) ainsi qu'Autodesk Civil 3D, logiciel de conception de génie civil.

Ces solutions de modélisation 3D gagnent également à être associées à des outils de travail collaboratif, afin que le jumeau puisse être manipulé par différentes parties prenantes (architectes, bureaux d'études, aménageurs, direction de l'urbanisme ou de la voirie...). C'est ce que permet par exemple BIM 360 Design, toujours d'Autodesk. Cette dimension collaborative serait même cruciale selon certains.

« Notre solution 3DEXPERIENCECity permet de construire et de faire vivre un jumeau numérique avec de nombreuses fonctions de travail collaboratif. C'est là que réside sa valeur, souligne Simon Huffeteau, vice-président Construction, Cities & Territories de Dassault Systèmes. Un jumeau numérique est une représentation très intuitive, qui facilite la collaboration et la compréhension de plusieurs acteurs autour d'un même projet. Il sert ainsi de référentiel commun. »

L'autre brique essentielle du jumeau numérique est le système d'information géographique (SIG). « C'est via le SIG que l'on peut facilement intégrer des éléments comme les schémas des réseaux électriques, d'eau ou de télécommunications », assure David Jonglez, directeur du Business Development pour Esri France. Le leader du secteur du SIG propose sa propre solution de jumeau numérique, dérivée de ses technologies géographiques. « Notre plate-forme ArcGISUrban permet une représentation 3D complète du territoire intégrant toutes les informations contextuelles. »

Toutes ces modélisations 3D peuvent être réalisées dans le cadre du projet de jumeau numérique. Mais il est également possible de "capitaliser sur l'existant" et d'exploiter des modèles 3D déjà disponibles. Siradel rappelle ainsi disposer de plus de 2 000 maquettes 3D de villes françaises. « Ces modèles 3D ont été réalisés pour le secteur privé, notamment les acteurs des télécoms. Mais nous les proposons aussi aux collectivités. Si besoin, nous complétons l'existant par de nouvelles mesures, via de l'imagerie aérienne ou des relevés au sol



Rennes : le jumeau numérique pour désiloter les métiers

Rennes Métropole a débuté en 2017 un projet expérimental, baptisé Virtual Rennes, en partenariat avec Dassault Systèmes, visant à tester les usages du jumeau numérique. « Le champ des

possibles étant très large, nous sommes partis de cas d'usages concrets », explique Christelle Gibon, responsable projets innovants à Rennes Métropole. Parmi les premiers "use case" :

simuler l'évolution de la population du territoire et anticiper les besoins en équipements scolaires. La planification urbaine est également évoquée, avec « l'orchestration et le suivi d'opérations d'aménagement ». Parmi les expérimentations plus récentes, la collectivité a travaillé avec la société EdgeMind « pour simuler

les nouvelles formes de mobilités, comme le transport à la demande et les véhicules en libre-service (vélos et trottinettes) afin d'évaluer ces nouvelles offres de services ». D'une durée initiale de trois ans, le projet Virtual Rennes pourrait être prolongé. Le bilan est globalement positif : « le jumeau numérique se révèle être un outil pertinent pour favoriser la collaboration entre les différents acteurs de la ville, internes comme externes, et désiloter les métiers, poursuit Christelle Gibon. Il peut aussi faciliter le suivi des trajectoires du territoire et l'évaluation des performances des politiques publiques. Enfin, par la simulation des fonctionnements urbains, il permet d'anticiper les évolutions du territoire et peut aider ainsi à planifier, de façon éclairée, le développement urbain et les services publics. » Le budget de ce projet est de 2,5 millions d'euros.

réalisés par des véhicules ou des piétons », explique Laurent Bouillot.

Alimenter le jumeau en données contextuelles

Pour prendre vie, le jumeau numérique doit intégrer des données de contexte. Des acteurs tels qu'Egis proposent des briques technologiques qui agrègent ses données afin d'"alimenter" le jumeau numérique en data. « Nous proposons par exemple "Smart Environmental System", outil de suivi en temps réel de l'état de l'environnement », explique Béatrice Gasser. Il intègre des mesures des nuisances pouvant survenir durant un chantier, comme le bruit ou les vibrations au sol. « Il permet ainsi de mieux répondre aux exigences réglementaires et à celles des riverains, de plus en plus impliqués dans la qualité de leur cadre de vie. »

Le groupe Colas, leader mondial de la construction d'infrastructures de transport, propose également des jeux de données pour alimenter le jumeau numérique. « Nous disposons d'importants volumes de données liées à la route, avec plus de 10 000 maquettes 3D réalisées par an. Ces données sont mises à jour tous les ans et permettent par exemple de connaître l'état de dégradation de la chaussée. Nous proposons d'intégrer ces maquettes dans les jumeaux numériques. C'est un nouveau marché pour nous », explique Maud Guizol, directrice adjointe BIM et construction numérique.

Un ROI encore difficile à évaluer

Le jumeau numérique est un outil récent. Les acteurs du secteur manquent donc de recul pour évaluer son retour sur investissement. Le coût des projets est également très variable, allant de quelques dizaines de milliers d'euros pour un jumeau numérique basique à plusieurs centaines de millions d'euros à mesure que les couches de données contextuelles sont intégrées.

Ce flou n'empêche pas les acteurs du secteur d'être confiants sur les perspectives futures du jumeau numérique. « La représentation 3D de la ville est assurément l'avenir, estime Gwenaël Bachelot d'Autodesk. L'objectif est désormais de tendre vers des jumeaux numériques de plus en plus complets et, surtout, fonctionnant en temps réel. » Un avis partagé par Ingérop, qui rappelle les limites actuelles de la puissance de calcul informatique. « Aujourd'hui, nous réalisons des extractions ponctuelles du jumeau numérique pour étudier l'impact de tel à tel aménagement. Ces calculs peuvent demander plusieurs dizaines d'heures. Un jumeau numérique complet et photoréaliste, fonctionnant en temps réel, est bien entendu l'objectif. Mais il faudra attendre encore un peu avant de pouvoir en disposer, confie Simon Dumoulin. La situation évolue cependant, avec de plus en plus d'outils dans le cloud, ce qui est une réponse à cette problématique de puissance de calcul. » ■

Le partenariat Esri et Autodesk : une avancée pour la convergence BIM/SIG

Billet publié le [6 octobre 2020](#) par [Roy](#)

Pour rappel, BIM est un terme provenant de l'anglais Building Information Modeling, qui se traduit par Modélisation des Informations (ou données) du Bâtiment. Bâtiment est ici la traduction française, mais le terme anglais englobe plus largement les infrastructures et le processus de construction. Le BIM est avant tout une méthode, un processus qui permet à tous les acteurs d'un projet concernant un bâtiment ou une infrastructure de collaborer autour d'une maquette 3D unique, bien souvent à l'échelle d'une structure spécifique.

Qu'est ce que la convergence BIM/SIG ?

Le BIM se superpose de plus en plus aux interfaces SIG : on parle alors de convergence SIG/BIM. Pour rappel, un SIG (Système d'Information Géographique) est un logiciel qui permet d'acquérir, d'organiser, traiter, analyser et restituer des données géographiques à diverses échelle (de la rue à la région par exemple). Et tout comme le BIM, un SIG est un outil qui s'utilise dans une démarche de collaboration. Cette convergence (récente, moins de 4 ans) s'attache à tirer parti du meilleur de ces deux mondes. Le BIM donne des informations numériques de l'infrastructure, essentielle à sa conception et construction ; et plus globalement tout au long de son cycle de vie. La combinaison des deux permet une contextualisation de la maquette BIM, c'est-à-dire l'intégration de l'infrastructure à son environnement. La convergence des deux écosystèmes rend possible l'analyse croisée entre l'infrastructure, ce qui existe avant, après, autour et en sous-sol. Les informations fournies par le contexte permettront aux concepteurs d'orienter, entre autres, l'emplacement, l'orientation, ainsi que les matériaux de construction de l'infrastructure.

2017 : Esri et Autodesk scellent leur partenariat

Cette convergence se retrouve dans le partenariat ESRI – Autodesk : désormais les modèles Revit (logiciel BIM d'Autodesk) peuvent être lus directement dans ArcGIS Pro (avec Esri Layer Package) sans transformation de format de fichier, permettant ainsi une interopérabilité entre un logiciel de maquette BIM et un logiciel cartographique. Cette association entre ESRI et Autodesk a pour objectif la mise en place de « jumeaux numériques » des structures physiques. On dépasse le concept de la maquette 3D en allant au-delà des représentations surfaciques de bâtiment, voiries etc. Les données « font vivre » les maquettes (le cadre du statique est dépassé pour laisser place à un rendu dynamique).

La création du jumeau numérique de Boston : un exemple du résultat de l'alliance entre BIM et

SIG

Un exemple du résultat de l'alliance entre ESRI et Autodesk est : la Digital twin (ou jumeau numérique) : une réplique virtuelle du territoire.

Avoir un jumeau numérique en 3D de sa ville rend possible la simulation de son fonctionnement. On dépasse alors la simple représentation d'une maquette en 3D car on va au-delà de la représentation en surface des éléments du territoire (bâtiments, routes, ponts etc) en intégrant des données pour animer le modèle comme la circulation routière, la consommation énergétique des bâtiments mais

aussi des indicateurs environnementaux tel que la qualité de l'air ou le niveau sonore d'un espace (si la ville est équipée de capteurs) par exemple.

Un exemple de l'utilité de ces jumeaux numériques : un projet de construction d'un tour à Boston excédait la réglementation de la hauteur des bâtiments à Boston. Le projet a donc été modélisé au sein d'une maquette 3D de la ville. Il a donc été possible de voir quels impacts, notamment en termes d'ombrage et de paysage, aurait le projet architectural.



En haut, la lumière du jour à 9h et en bas à 11h. Le projet est représenté et l'ombre projetée aux différents horaires sont représentées en orange.

Les usagers de ces jumeaux numériques sont nombreux on peut par exemple citer la planification urbaine. Simuler la circulation des voitures sur un territoire pourrait permettre de voir les impacts sur les déplacements d'un projet architectural. Un autre usage important serait le marketing territorial : une maquette dynamique virtuelle 3D est plus parlante qu'une maquette en carton ou un schéma 2D.

Plusieurs villes françaises possèdent déjà leurs jumeaux numériques : Bordeaux, Lyon, Le Havre...

DOCUMENT 5

BIM : des processus autour d'un projet commun – BuildingsmartFrance.fr

« BIM » renvoie certes à maquette numérique, mais aussi à des process BIM, à un management BIM. Le fait de travailler avec des maquettes métiers oblige les intervenants du projet à échanger des données, à travailler de concert. Explications en détail.

Notions clés du BIM

Qu'est-ce que le BIM ? Un logiciel, une maquette 3D, un processus, une révolution, une technologie ? Focus sur les notions clés pour comprendre les enjeux et les champs d'action, et prendre conscience des changements de culture professionnelle qui se profilent dans la construction. Avec le BIM, l'avenir c'est aujourd'hui !

BIM : des processus autour d'un projet commun

« BIM » renvoie certes à maquette numérique, mais aussi à des process BIM, à un management BIM. Le fait de travailler avec des maquettes métiers oblige les intervenants du projet à échanger des données, à travailler de concert. Explications en détail.

Le BIM, c'est quoi exactement ?

Par BIM on entend surtout 2 choses.

- **La maquette numérique (MN).**
Il s'agit d'une représentation 3D des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un bâtiment. Mais outre les 3 dimensions, elle intègre aussi la dimension temps (4D), les datas « financières (5D), environnementales (6D), patrimoniales (7D)... C'est donc avant tout une base de données techniques, constituée d'objets définis par leurs caractéristiques et leurs relations entre eux. Le tout forme un ensemble structuré d'informations sur un ouvrage.
- **Un processus métier de génération et d'exploitation de data techniques**
Il permet de concevoir, construire et exploiter un ouvrage sur l'ensemble de son cycle de vie. C'est un process collaboratif dans l'entreprise (BIM niveau 1) ou entre des partenaires extérieurs (BIM niveau 2) autour de MN.

BIM : révolution ou évolution ?

Le BIM se traduit par un changement de pratiques professionnelles alliant évolution technologique et redéfinition de la collaboration entre intervenants. A noter que chacun reste expert dans son métier. En effet, "construire numériquement avant de construire" permet de :

- prendre en compte plus d'informations dès la conception (notamment les besoins d'exploitation) ;
- mieux maîtriser le cout global par l'optimisation des solutions constructives ou l'anticipation de problèmes en exécution ;

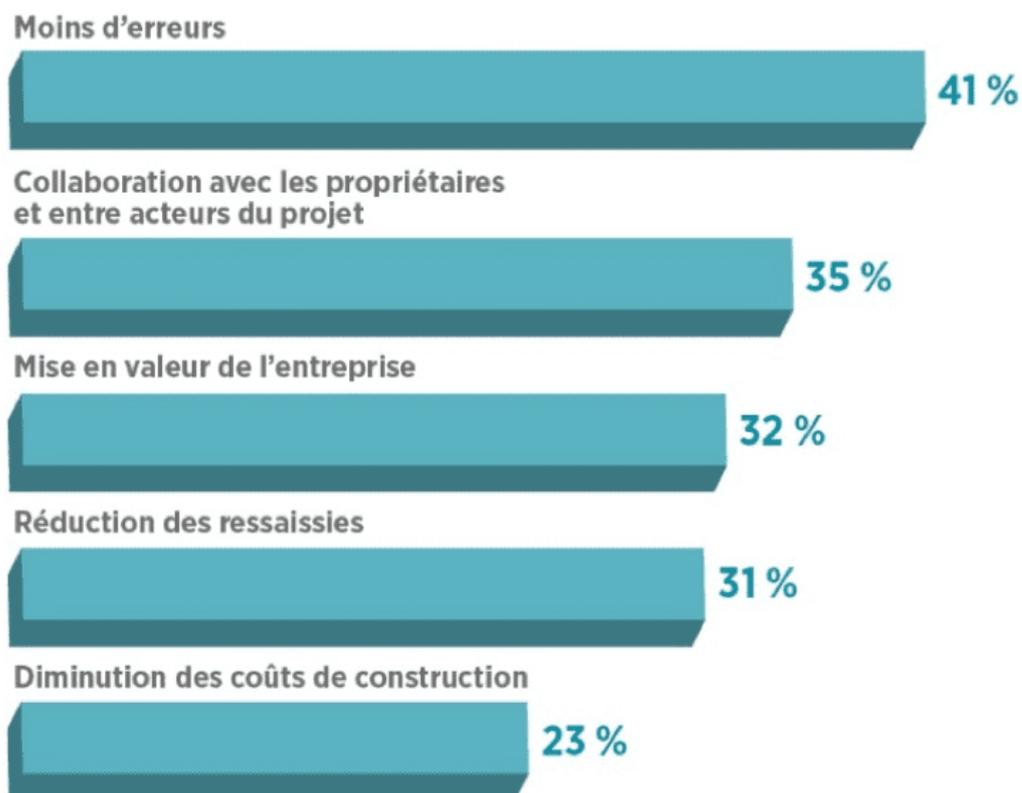
- et ainsi de prendre de meilleures décisions.
L'avatar numérique de l'ouvrage devient aussi important que l'ouvrage réel.

Le BIM pour tous

Le BIM n'est pas l'apanage du bâtiment ni des grands groupes.

Le BIM concerne les manufacturiers comme le monde des Infrastructures et des villes : le BIM est multi-échelle, du boulon modélisé aux territoires intelligents.

Le BIM est un atout des TPE et de tous les acteurs de la filière qui veulent digitaliser leurs activités, à la recherche de gisements de valeur... pour peu d'intégrer le BIM dans l'entreprise en fonction de ce que l'on sait faire, des moyens que l'on peut mettre en œuvre et des résultats à obtenir.



(© McGraw-Hill, 2015)

Prérequis au déploiement du BIM en France

Selon bSFrance – Mediaconstruct, pour que le marché ait confiance et que les usages du BIM se généralise, il est essentiel d'accompagner :

- la conception de logiciels et d'univers numérique adaptés,
- la définition de bonnes pratiques projet issue du partage d'expérience,
- l'émergence, la création et l'implémentation de normes sur le BIM.

L'openBIM, une approche universelle

L'openBIM est une manière de travailler en BIM avec des processus et outils informatiques interopérables s'appuyant sur des normes internationales ou européennes ou des standards BIM ouverts.

L'appellation « openBIM » a été déposée par buildingSMART International : ce n'est donc pas une marque de logiciel ! L'openBIM fait référence aux normes du BIM qui touchent 3 domaines :

- les datas,
- les échanges entre machines informatiques,
- les process métier (management de l'information).

Une norme est stable, ouverte et non discriminante dans un marché, permettant d'avoir un socle mutualisé. Aussi le principal atout de **l'openBIM c'est la pérennité des datas dans le temps et quels que soient les opérateurs** (bâtiments, infrastructures, manufacturing, smart building, IOT...).

Les data : objets BIM

Pour travailler ensemble, les acteurs ont besoin d'un vocabulaire commun qui lève toute ambiguïté. L'idée ? Établir un fil conducteur entre « ce qui est attendu » et « la solution opérationnelle ».

Entre notions clés et pratiques BIM

Les éléments qui constituent la maquette BIM (murs, planchers...) ne sont pas de simples composants 3D.

Chaque élément correspond à un objet BIM, constitué de propriétés géométriques, descriptives, de positionnement et de liaison.

+ A chaque propriétés seront associées des valeurs permettant de spécifier l'objet.

= Tout cela forme les datas du BIM.

Afin d'associer plus efficacement à chaque objet BIM le produit industriel adéquat, il faut un dictionnaire BIM (qui joue le rôle de mapping) pour créer cette compatibilité descriptive entre les uns et les autres. C'est ainsi qu'un fabricant peut réaliser un e-catalogue en décrivant ses produits suivant une liste de propriétés, et les éditeurs implantent les propriétés dans leurs logiciels.

Mapper les données avec le BIM

Le bSDD, développé au sein de buildingSMART selon la norme ISO 12006-3, représente à la fois un outil de gestion et de consultation et une base de données de plusieurs « dictionnaires » nationaux.

Il intègre :

- des classifications,
- des définitions COBie,
- des propriétés de type produits pour le marquage CE,
- et des objets, composants et propriétés.

Le bSDD est devenu le lieu de définition des propriétés IFC depuis la version IFC 4. Multilingue, il est partageable au-delà du contexte franco-français.

A noter : des Linked Data ont été développées pour mapper les informations entre elles. Cette innovation reprend l'architecture actuelle du Web (HTTP, HTML et URI) afin de relier entre eux des « silos » isolés de données hébergées en ligne et de les partager à une échelle globale. Un Grand graphe global !

La France leader sur les datas product

La norme prEN ISO 23386 provient de la norme française de description produits XP P 07-150. Cette dernière a été portée au niveau européen et international sous le leadership français. Elle a été publiée en 2015 suite aux travaux de la commission de « Propriétés des Produits pour la maquette numérique » (PPBIM) de l'AFNOR, eux même initiés par l'AIMCC et bSFrance – Mediaconstruct et portés au sein de bSI.

Ses objectifs ?

- Fournir un processus de gestion pour la création et de la maintenance des propriétés d'objets BIM, sachant qu'il y aura une définition commune et unique d'une propriété (nom, définition, UOM...) ;
- Introduire la cohérence entre les dictionnaires existants.

Les process BIM

Une des clés du « travailler ensemble » dans le cadre d'un projet en BIM est de pouvoir s'appuyer sur des normes de process BIM.

Un projet en BIM implique l'intervention de nombreux acteurs complémentaires. Pour s'assurer que tous ces « contributeurs BIM » œuvrent de manière cohérence, il est primordial d'établir des règles. Cela évite à chacun de réinventer des méthodes collaboratives de travail, et tous les acteurs trouve leur place selon leurs compétences.

Tout cela représente une aide à la mise en œuvre du BIM, notamment pour les TPE/PME, qui harmonise les pratiques et améliore la collaboration et la sous-traitance.

Management de l'information et niveaux de détails (LOD, LOX, LOIN BIM)

Des IDM (*Information delivery manual*) – définis par la norme ISO 29481-1 – est née une norme décrivant l'interaction du BIM dans le management de projet : la série ISO 19650 actée en janvier 2019.

Elle traite de la définition des exigences du client, et de la façon d'organiser le management de l'information pour y répondre. Elle permet de spécifier précisément les informations échangées entre les acteurs, à chaque étape d'un projet sur l'ensemble du cycle de vie d'un ouvrage.

Plus la planification avance, plus les acteurs ont besoin d'informations détaillées : il s'agit des LOD (level of développement) devenus LOX tant il peut y avoir de niveaux de détails. Aujourd'hui on parle de LOIN (*Level of Information Need*). C'est par lui que le client définit les besoins d'informations. Le but est de réconcilier ces ensembles de vues dans un document commun harmonisé avec des définitions partagées de « level of ».

L'indispensable convention BIM

La convention BIM s'inscrit dans un corpus documentaire BIM qui couvre le cycle de vie de l'ouvrage. Elle est nécessaire car les thèmes qu'elle aborde ne sont pas décrits par les documents contractuels :

- exigences d'informations du donneur d'ordre (objectifs de qualité et de performances attendues),
- exigences d'informations de l'actif,
- exigences d'informations du projet (objectifs à respecter par les acteurs),
- exigences d'échanges d'informations (méthodes organisationnelles dans la phase opérationnelle).

L'ensemble des acteurs doivent adhérer à son contenu :

- environnement de travail (Commun data environnement – CDE),
- modalité d'échanges,
- droits,
- objectifs,
- missions de chacun de la conception à la fourniture des livrables.

Il s'inscrit dans le cadre du management de l'information, en tant que réponse au « cahier des charges BIM » émis par le donneur d'ordres et définissant le projet sous l'angle du BIM. buildingSMART France a rédigé pour la France la 1ère convention BIM, mise en cohérence avec les productions MINnD et l'ISO 19650.

L'interopérabilité : le cœur technique du BIM

Sans interopérabilité, impossible pour les acteurs d'un même projet de passer d'une solution informatique à une autre, pour partager et conserver leurs données. C'est tout l'intérêt des formats d'échange normés.

Structurer l'information BIM et l'échanger

Dans le BIM, les systèmes de classification – définis par la norme ISO 22274:2013 – permettent de nommer, d'analyser, d'organiser, de hiérarchiser et d'identifier les composants d'un ouvrage (on parle de classes d'objets). bSFrance – Mediaconstruct a publié un rapport détaillant l'ensemble des systèmes de classification et un [mémo pratique](#).

Le format IFC définit la façon dont l'information va être structurée pour pouvoir être lue et correctement interprétée par les « machines » logiciels. Cela implique d'être très précis sur la façon dont les éléments sont modélisés à la source afin qu'ils soient correctement interprétés dans le format IFC. C'est un format d'échange des données développé et maintenu par buildingSMART.

Le BCF est un format léger et souple qui permet d'échanger des commentaires sur tout ou une partie du modèle 3D virtuel. Quel que soit le logiciel utilisé, les informations ciblées (documentation, texte, capture d'écran...) sont transmises entre les différents acteurs et leurs logiciel BIM. Un post-it BIM !

Le COBle a pour objectif d'organiser et de structurer les informations essentielles majoritairement non-graphique pour l'exploitation du bâtiment, tout en restant facilement accessible pour le maître d'ouvrage. Une feuille Excel géante !

Extension et convergence BIM

Le BIM permet de simplifier la transmission de données sur l'ensemble de la Construction et d'ainsi gagner en productivité. En effet, les formats d'échange IFC sont étendus à la route, au rail, aux ouvrages d'art et même aux ouvrages souterrains. En France, ce travail est confié par [buildingSMART France](#) au projet MINnD.

Les IFC voient leur compatibilité développée avec les Systèmes d'information géographique (SIG ou GIS en anglais) dont le CityGml. Il existe un partenariat fort entre buildingSMART International et OGC pour que openBIM et openGIS convergent.

La convergence des protocoles d'échanges de données doit s'étendre au-delà de la Construction, vers exploitation, en incluant les objets connectés.

Le format Haystack entend homogénéiser toutes les données liées à la gestion technique du bâtiment. En le rapprochant des IFC, on obtiendrait une vision unifiée des équipements et des pièces. L'objectif : créer la continuité numérique entre les activités « building smart » et « smart building ».

DOCUMENT 6

(...)

2 / Pourquoi la maîtrise d'ouvrage a-t-elle un intérêt à s'engager dans la démarche BIM ?

Il convient tout d'abord de rappeler que se lancer dans une démarche BIM pour la réalisation d'un équipement, ce n'est pas se lancer dans une aventure dont on ne connaît pas l'issue. Ce type de démarche autour d'une maquette numérique est utilisé depuis longtemps en France comme dans les autres pays, dans les secteurs industriels de la construction automobile et de la construction aéronautique. Le BIM est également déjà très développé pour le domaine de la construction dans certains pays notamment les pays anglo-saxons et scandinaves.

Ce n'est donc plus une démarche expérimentale. Pour autant, il reste à adapter cette démarche à la structuration du secteur de la construction en France. Cela concerne la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre, les entreprises et plus généralement tous les acteurs de la construction

Cette démarche qui a fait ses preuves doit permettre à la maîtrise d'ouvrage d'avoir un bâtiment mieux conçu, mieux construit et plus facile à maintenir et à exploiter, sans parler des gains potentiels à terme sur les délais et les coûts. Le BIM reste un outil et une méthode et ne remplace pas l'intelligence apportée par chacun des acteurs mais il favorise par sa démarche collaborative l'intelligence collective.

La démarche BIM ne remet aucunement en question le déroulement d'une opération de construction, à savoir une étape de programmation de la responsabilité de la maîtrise d'ouvrage suivie d'une étape de conception architecturale et technique de la responsabilité de la maîtrise d'œuvre et de l'étape de construction menée par les entreprises.

De même le BIM ne remet pas en question le séquençage des études de conception tel qu'il est notamment défini par les textes de la loi MOP. On retrouvera les études d'esquisses, d'APS, d'APD, de projet et d'exécution. Néanmoins, il est avéré que l'effort de production se déplace en amont.

Une démarche BIM complète trouve sa place dès l'étape de programmation et se poursuivra tout au long des études de conception et ensuite durant l'étape de construction et au-delà durant tout le cycle de vie de l'équipement (exploitation, maintenance, réhabilitation, déconstruction).

Gains pendant la phase initiale de programmation et de conception

Qualité, optimisation des études, ingénierie concourante, autocontrôle, compréhension partagée du projet

La démarche BIM ne peut qu'aller dans le sens d'une meilleure qualité. En effet, cette démarche favorise un travail interactif dès les premières phases de conception entre les partenaires de la maîtrise d'œuvre permettant ainsi une meilleure cohérence des différentes études conduisant à des optimisations coordonnées du projet sous tous les aspects (réponse aux besoins, aspects techniques, financiers...). On parle d'ingénierie concourante.

Chacun développe et complète la maquette avec ses propres données, données sous formes d'objets avec leurs caractéristiques en termes de dimensionnement, de nature de matériaux, de performances, de coûts, de durée de vie. Les risques de pertes d'information lors des allers et retours du projet entre les différents partenaires sont largement amoindris dès lors qu'il y a une bonne interopérabilité entre les outils métiers de ces différents partenaires. La maquette numérique permet aux différents partenaires de limiter la ressaisie des données, occasionnant des gains de temps et une diminution des risques d'erreur.

Si dès le départ le programme du maître d'ouvrage est rédigé avec la volonté d'une démarche BIM, les besoins, exigences et contraintes formulés dans ce programme seront intégrés dans la maquette numérique par la maîtrise d'œuvre sans nécessiter une ressaisie. Il en sera ainsi des caractéristiques attachées aux espaces (surface, performances à atteindre...), des règles d'urbanisme, des règles d'accessibilité, des classements relatifs à la réglementation incendie...

La maquette numérique par sa représentation du projet sous forme tridimensionnelle permet également une compréhension facilitée et partagée du projet notamment pour le maître d'ouvrage lors des phases d'approbation des études.



Amélioration de la qualité des estimations financières

La maquette numérique permet une meilleure qualité des estimations financières dans la mesure où les maîtres d'œuvre disposent de données plus nombreuses et plus précises, plus tôt, dans l'établissement du projet.

Le processus itératif de la maquette numérique permet à ces professionnels d'analyser avec plus de précisions les éléments qualitatifs, quantitatifs et de prix, constitutifs du coût de la construction. C'est un processus progressif, à chaque étape de conception correspond un niveau de définition du prix.

En augmentant l'exigence de transparence, d'analyse et de contrôle des coûts, la maquette facilite leur réajustement lors des différentes phases de conception et lors des évolutions de programme formulées par le maître d'ouvrage.

Gestion améliorée des modifications

La maquette numérique peut faciliter le maintien de la cohérence d'ensemble du projet lors des modifications qui interviennent en phase conception à la demande du maître d'ouvrage. Pour autant la maîtrise d'ouvrage ne doit pas en abuser car cela pourrait conduire à un projet en perpétuelle évolution et qui pourrait au final ne plus répondre aux besoins et exigences exprimés dans le programme.

Gains de temps permettant une meilleure optimisation du projet

Les gains de temps engendrés par la maquette numérique en phase de conception et notamment lors des phases de validation par le maître d'ouvrage peuvent être mis à profit pour donner à la maîtrise d'œuvre un peu plus de temps pour parfaire l'optimisation du projet. Au global, il n'y aura peut-être pas de gains de temps significatifs sur cette phase de conception mais le projet sera encore mieux étudié donc de meilleure qualité, permettant probablement des gains de temps ultérieurs en phase chantier et en phase d'exploitation maintenance.

Concertation et dialogue facilités avec les utilisateurs, usagers...

La maquette numérique offre de larges possibilités de visualisation en 3D du projet. Le maître d'ouvrage pourra utiliser ce mode de visualisation pour concerter et communiquer autour de son projet avec les utilisateurs, les usagers, les riverains, les clients...

La maquette numérique permet d'avoir ce mode de visualisation à un coût moindre car ces visualisations 3D peuvent être extraites directement de la maquette numérique. Coût moindre mais pas nul car ces visualisations doivent être adaptées à l'usage qui en est fait et au public auquel elles sont destinées : ce n'est pas la maquette numérique remise par le maître d'œuvre au maître d'ouvrage à chaque étape de

conception qui peut être directement présentée avec un outil de visualisation pour ces actions de concertation et communication.

Gains de qualité de la construction : des acteurs amenés à travailler plus facilement et plus tôt ensemble

Des études plus précises, pour une meilleure optimisation du projet

La maquette numérique en phase de conception conduit la maîtrise d'œuvre à travailler avec davantage de données et plus de précision dès les phases amont. Le projet sera ainsi mieux optimisé et donc de meilleure qualité,

Consultation des entreprises améliorée

Une maquette numérique issue de la phase de conception intégrée en annexe du dossier de consultation permettra une compréhension facilitée du projet par les entreprises. Elles pourront mieux appréhender le déroulement du chantier et définir avec plus de facilité les quantités et le niveau de prestation attendu pour établir leur offre de prix.

Même si le BIM permet de définir un projet mieux optimisé, il ne faut pas négliger le savoir-faire des entreprises en termes d'optimisation constructive des projets et donc permettre à ces dernières d'être force de proposition en la matière et notamment ne pas fermer systématiquement en marché classique l'ouverture aux variantes dont le champ aura été limitativement défini par les équipes de conception pour éviter tout risque de remise en cause du projet d'ensemble à ce stade.

Études d'exécution/visa/synthèse mieux optimisées

L'optimisation et la qualité apportées par la maquette numérique lors des différentes phases de conception se retrouveront également lors de l'élaboration des études d'exécution, que ces dernières soient réalisées par la maîtrise d'œuvre ou par les entreprises. Dès lors que toutes les études d'exécution sont rattachées à une même maquette numérique, la synthèse sera facilitée et de meilleure qualité.

Gestion du chantier facilitée (réduction des aléas en phase chantier, gestion des approvisionnements, déroulement du chantier...)

Le BIM de par la qualité de la conception de l'ouvrage qu'il permet, élimine une partie des aléas qui surviennent en phase chantier par une meilleure gestion des interfaces. La plupart des points de conflit qui dans un mode classique peuvent échapper à la vigilance des acteurs du projet et qui se révèlent en phase chantier sont éliminés dans un mode BIM. En effet les logiciels d'élaboration de la maquette numérique permettent une meilleure détection des points de conflit et créent des alertes. C'est un des grands atouts du BIM.

La maquette numérique sera également un outil performant pour la gestion des approvisionnements par les entreprises du fait d'une détermination des quantités à mettre en œuvre plus fiable et de la gestion d'un planning plus efficace.

Par une meilleure anticipation, la maquette numérique aide à la préparation de la phase de réalisation. Elle permettra d'anticiper et d'optimiser et de prévoir les scénarios du déroulement du chantier. Elle participe activement à l'intégration des préoccupations de sécurité et à la définition du matériel utilisé pendant les phases provisoires de construction.

Réduction de la sinistralité

Les opérations réalisées dans le cadre d'une démarche BIM, doivent conduire, par la qualité engendrée par le processus, à des ouvrages présentant moins de désordres et de malfaçons. Avec cette baisse de la sinistralité, des gains devraient donc apparaître et avoir des répercussions sur les contrats d'assurance des différents acteurs.

Par ailleurs en cas de sinistre, dû à une malfaçon ou à un événement extérieur (intempérie par exemple) les missions d'expertise devraient être réduites et facilitées du fait de la parfaite connaissance de l'équipement construit. La maquette numérique DOE facilitera les investigations menées par les experts pour connaître l'ouvrage. Toutefois il convient de veiller au bon archivage de la maquette numérique DOE de l'opération initiale (à utiliser pour des sinistres de type garantie décennale), à la prise en compte de l'évolution de cette maquette DOE par les concepteurs successifs en cas de nouvelles opérations portant sur l'ouvrage ainsi qu'à la mise à jour en temps réel de la maquette exploitation maintenance. Le BIM management doit assurer une bonne qualité de la traçabilité des interventions de chacun.

Outil facilitateur pour l'exploitation maintenance

Meilleure prise en compte en amont de l'exploitation maintenance

C'est le processus d'ingénierie concourante incluant l'ensemble des acteurs de la filière qui conduit à ce résultat. Cela nécessite toutefois que le maître d'ouvrage exprime en phase de programmation ses attentes en termes d'exploitation et de maintenance et qu'une compétence en exploitation maintenance soit présente au sein des équipes de conception avec sans doute des logiciels spécifiques permettant d'analyser une maquette numérique de phase conception au regard de ses qualités en matière d'exploitation maintenance.

Aide pour la consultation des entreprises d'exploitation maintenance et la mise au point de leurs contrats

Le fait pour le maître d'ouvrage d'avoir défini dès la phase de programmation ses ambitions et objectifs en termes d'exploitation maintenance, demandes prises en compte par les

concepteurs, facilite la constitution du dossier de consultation des entreprises d'exploitation maintenance. Ce dossier de meilleure qualité devrait aider ces dernières à élaborer leurs offres. De plus, si le maître d'ouvrage a réalisé son opération en mode BIM jusqu'à disposer d'une maquette numérique de réception, celle-ci sera partie intégrante du dossier de consultation. Elle facilitera encore davantage l'élaboration des offres d'exploitation maintenance par une meilleure compréhension du projet et une appréhension plus fine des quantités extraites de la maquette et essentielles pour formuler des offres optimisées.

Une maquette numérique interopérable avec les logiciels d'exploitation maintenance, un véritable outil opérationnel pour l'exploitation maintenance

La maquette numérique DOE représentative de la construction telle qu'elle est au moment de la réception et de la livraison de l'ouvrage peut être connectée aux logiciels d'exploitation maintenance, éventuellement après écriture d'une interface logicielle adaptée, pour mener les opérations d'exploitation maintenance. Cette maquette pourra être enrichie de données relatives à l'usage du bâtiment qui bien souvent ne sont pas disponibles avant la prise de possession du bâtiment par les utilisateurs. C'est la maquette numérique d'exploitation maintenance. Sa configuration finale peut dépendre de la façon dont le maître d'ouvrage souhaite exploiter et maintenir son bâtiment.

Un outil performant de gestion patrimoniale et gestion de l'usage

Cet outil très efficace pour l'exploitation maintenance d'un équipement, le sera tout autant pour l'exploitation maintenance de tout un patrimoine dès lors que le maître d'ouvrage aura défini une stratégie de gestion patrimoniale et que cette dernière aura été intégrée le plus en amont possible dans la maquette numérique. On veillera au bon interfaçage de la maquette numérique exploitation maintenance avec les logiciels utilisés pour l'exploitation maintenance.

Outil précieux lors d'opérations de réhabilitation, restructuration et même lors de la démolition de l'équipement

La maquette numérique, du fait d'un meilleur niveau d'information sur l'équipement construit, facilitera et réduira les missions de relevés, d'expertises et de diagnostics portant sur cet équipement. Cela nécessite que la maquette numérique de DOE soit fidèle à l'ouvrage construit et soit maintenue parfaitement à jour lors de modifications apportées à cet ouvrage durant sa vie.

Les données de cette maquette qui ne seraient pas impactées par les modifications apportées à l'équipement initial pourront directement alimenter la nouvelle maquette numérique relative à l'équipement réhabilité ou restructuré.

Gains économiques : des gains à terme sur le coût global

Le BIM dont le premier objectif est d'apporter une meilleure qualité aux bâtiments construits et une meilleure prise en compte de l'exploitation maintenance devrait conduire à des gains sur le coût global ce qui implique un raisonnement en termes d'investissement et non plus seulement en termes d'évaluation des travaux. Le BIM peut, par ailleurs, permettre la mise en place de la norme ISO 15 686-5 méthode de calcul du coût global d'une opération de la construction à la déconstruction.

Dès lors que les acteurs de la chaîne de construction se seront appropriés les nouveaux outils, le poste de gain le plus immédiat portera sur les coûts de réalisation de l'ouvrage du fait d'une conception mieux optimisée, d'une réduction importante des aléas de chantier et d'une meilleure maîtrise des délais qui en découlera. Il convient toutefois de préciser que l'approche en coût global peut en sens inverse renchérir le coût de réalisation du fait de choix constructifs plus pérennes notamment en ce qui concerne les équipements et les matériaux. Dans un deuxième temps, des gains significatifs sont attendus sur l'exploitation-maintenance, qui disposera d'une base de données fiable comme support d'activité. Les gains concernent donc l'ensemble de la chaîne des acteurs liés au projet tout au long de son cycle de vie. Chacun des acteurs sur les opérations, dans les tâches qui lui sont confiées, avec ses nouveaux outils, maîtrisera mieux ses risques, aléas et incertitudes.

Toutefois, en phase d'apprentissage et d'acquisition du BIM par l'ensemble des acteurs de la filière du bâtiment, le passage à la démarche BIM et à l'utilisation de la maquette numérique n'engendre que progressivement ces gains économiques, qui sont notamment déterminés par les éléments liés au temps de retour sur investissement pour les acteurs et à l'évolution de la courbe d'apprentissage des compétences. En effet, la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre, les entreprises, les industriels, et tous les autres acteurs, doivent investir pour acquérir les compétences et les outils nécessaires à la maîtrise de la démarche BIM et à l'utilisation de la maquette numérique.

C'est pourquoi, les gains économiques liés la démarche BIM et à l'utilisation de la maquette numérique ne sont pas immédiats pour les acteurs. Ils sont conditionnés par les éléments relatifs aux capacités à investir, à la dimension des structures, etc., spécifiques à chaque acteur.

(1) S'agissant de l'échange des données non géométriques dans le BIM, les pays anglo-saxons proposent le format COBie.

Sécurisation des délais

La démarche BIM se traduisant par une implication des acteurs suffisamment en amont, la synthèse des études, les simulations, les décisions, les approvisionnements... sont anticipés et mieux coordonnés, rendant ainsi le chantier plus fluide et mieux maîtrisé. Cette gestion facilitée permet de sécuriser les délais.

Les délais d'intervention en phase d'exploitation maintenance pourront également être réduits du fait d'une parfaite connaissance de l'équipement construit.

Facteur d'évolution de la maîtrise d'ouvrage

Au-delà de tous les atouts potentiels précités d'une démarche BIM, une telle démarche incitant la maîtrise d'ouvrage à mieux connaître son patrimoine, à penser dès l'amont gestion et optimisation de son patrimoine, à raisonner en coût global ne peut que conduire la maîtrise d'ouvrage à s'inscrire dans une démarche volontaire de professionnalisation pouvant aller jusqu'à une réorganisation de ses services.



Même si aujourd'hui on peut constater une diminution du nombre de candidatures de maîtres d'œuvre et d'entreprises pour les opérations lancées avec une démarche BIM par les maîtres d'ouvrage, le nombre de candidats reste suffisant pour que la concurrence soit assurée. On ne peut donc pas faire état d'un caractère discriminatoire face à une telle demande. Il convient toutefois de ne pas imposer l'utilisation d'un logiciel déterminé et de choisir un format d'échanges des données ouvert et courant. C'est le cas du format IFC normalisé à l'ISO qui est le seul format d'échanges standard et normalisé utilisé pour les maquettes numériques dans le domaine de la construction⁽¹⁾.

De plus, tous les acteurs de la construction et leurs organismes représentatifs se mobilisent aujourd'hui pour promouvoir et faciliter l'accès à la démarche BIM et à la maquette numérique dans leurs métiers respectifs. Le nombre de professionnels aptes à répondre aux demandes des maîtres d'ouvrage en matière de BIM ne cesse d'augmenter.

Les industriels également se mobilisent pour que leurs produits s'intègrent dans des bibliothèques venant s'articuler avec les modèles d'objet génériques dans le cadre de la norme expérimentale XP P07-150 dite PPBIM. En marchés publics, jusqu'à la phase de consultation des entreprises la maquette numérique ne pourra contenir que des objets génériques porteurs des exigences, puis la maquette s'enrichira ensuite des informations des objets réellement mis en œuvre par les entreprises.

3 / Comment le maître d'ouvrage s'engage-t-il dans une démarche BIM ?

Structuration de la maîtrise d'ouvrage

L'engagement de la maîtrise d'ouvrage dans une démarche BIM qui conduit, au-delà d'une amélioration de la qualité des ouvrages construits, à une meilleure prise en compte dès l'amont des conditions d'exploitation maintenance des équipements construits, et à une forte incitation à raisonner en coût global, impacte l'organisation de la maîtrise d'ouvrage en incitant notamment un rapprochement entre des services en charge de la construction et ceux en charge de la gestion de l'équipement, dès lors qu'ils appartiennent à la même structure. Cela peut donc conduire le maître d'ouvrage à revoir son organisation interne afin de rendre plus efficient ce rapprochement. Cela touche les services opérationnels mais également les services financiers, informatiques et toute la chaîne hiérarchique jusqu'aux décideurs.

Plan d'action de la maîtrise d'ouvrage

Les maîtres d'ouvrage qui n'ont pas encore défini une stratégie de gestion de leur patrimoine ou ceux à la tête d'un patrimoine très modeste peuvent s'engager dans une démarche BIM à l'occasion de la construction ou de la réhabilitation d'un ouvrage avec pour objectif essentiel l'amélioration de la qualité de réalisation de cet équipement.

Les maîtres d'ouvrage qui possèdent un patrimoine immobilier conséquent peuvent, outre les aspects qualitatifs, se donner pour objectif d'assurer une gestion optimisée de leur patrimoine. Le maître d'ouvrage établira une charte BIM à cet effet.

La charte BIM du maître d'ouvrage

La charte BIM est un document générique élaboré par le maître d'ouvrage traduisant sa politique en objectifs de qualité et de performances attendues. Elle recense notamment les exigences et les objectifs à satisfaire pour que le processus BIM des opérations puisse alimenter son processus exploitation maintenance BIM de son patrimoine.

Lorsque le maître d'ouvrage dispose d'un outil de gestion technique de son patrimoine la charte doit définir les objets ainsi que leurs caractéristiques pour qu'ils soient exportés dans le logiciel de gestion technique. La maquette numérique et le logiciel de gestion technique doivent donc être interopérables.

Par ailleurs si certaines données non nécessaires pour la construction doivent être utilisées dans le cadre de la politique d'entretien exploitation maintenance du maître d'ouvrage, il conviendra de formuler ces exigences dans la charte. Ce peut être par exemple le cas si le maître d'ouvrage a besoin de connaître la décomposition des surfaces peintes entre parties communes et parties privatives d'une construction.

Dans le cas où la maîtrise d'ouvrage en charge de la gestion de l'équipement construit est une entité différente de la maîtrise d'ouvrage en charge de la construction, il convient, dès lors que le maître d'ouvrage gestionnaire est connu, que ces deux entités se rapprochent pour élaborer cette charte afin que les attentes du gestionnaire soient prises en compte le plus en amont possible.

Les assistants à maîtrise d'ouvrage BIM (AMO BIM)

Même s'il convient de ne pas multiplier le nombre d'acteurs intervenant dans la réalisation d'un équipement, il peut être aujourd'hui utile pour une maîtrise d'ouvrage qui n'a pas encore acquis une solide expérience en matière de BIM de s'entourer d'un professionnel aguerri en la matière qui aura à traiter de ce sujet spécifique. C'est d'autant plus utile que ses assistants habituels n'ont peut-être pas encore acquis eux-mêmes cette expérience. Mais à plus ou moins brève échéance, cette compétence en matière de BIM devrait se retrouver dans toute la chaîne des acteurs. Les conducteurs d'opération, les programmeurs auront intégré cette compétence dans leur structure et il ne sera plus utile de faire appel séparément à un spécialiste du BIM. On a vécu le même schéma en matière de HQE il y a quelques années.

Il n'en demeure pas moins que le maître d'ouvrage devra comme toujours choisir un assistant de qualité en privilégiant les compétences et les références plutôt qu'un prix trop bas.



Quelles commandes passer au programmiste et/ou à l'AMO BIM ?

Une maquette numérique du site

Une maquette du site peut être très utilement donnée afin de permettre la visualisation du projet dans son environnement. Cela nécessite que le maître d'ouvrage engage un processus de numérisation du site ou qu'il récupère ces données auprès de bases déjà disponibles. Afin que cette maquette de site présente toutes les garanties de fiabilité, il est fortement recommandé de la faire établir par un géomètre expert.

Une programmation en mode BIM (cahier des charges BIM de l'opération)

Le cahier des charges BIM de l'opération est un document précisant pour le projet les exigences et objectifs des intervenants successifs du projet, incluant ceux de la charte BIM du maître d'ouvrage. Il constitue le volet BIM du programme.

Au-delà de ce volet BIM du programme, l'ensemble des besoins, contraintes et exigences du programme peut être spécifié sous un format qui permettra à la maîtrise d'œuvre de les intégrer directement dans sa maquette numérique. Il est en effet naturel que la programmation, première étape de toute opération soit le maillon initial de la chaîne numérique continue qui définira et accompagnera l'ouvrage tout au long de son cycle de vie. Aujourd'hui, le programme est élaboré sur des plateformes diverses (traitement de texte, tableur, logiciel de dessin...) non reliées entre elles et qui ne permettent qu'un contrôle manuel de la cohérence des données. Les contenus sont propres à chaque opération et les modalités de présentation sont très diverses. Les modalités de transmission du programme à la maîtrise d'œuvre opèrent une rupture entre les études de programmation et les études de conception. La mise en œuvre progressive du BIM en programmation va, en inscrivant les études de programmation dans la chaîne du numérique, faciliter d'une part le contrôle de cohérence des prescriptions programmatiques inscrites au programme et d'autre part leur transmission au maître d'œuvre. Les fiches espaces pourront être présentées en mode tableur pour que l'ensemble des données relatives à un espace soit facilement importé dans les outils logiciels des maîtres d'œuvre. Les performances générales actuellement rédigées en mode texte dans un cahier de spécifications techniques seront à terme ventilées pour entrer dans les bases de données associées à la maquette numérique. Cet objectif d'intégration des exigences de performance dans la maquette numérique limitera voire supprimera l'expression de spécifications de nature architecturale, technique ou environnementale contradictoires ou incompatibles, celles-ci faisant parfois l'objet de cahiers distincts du programme. L'expression des besoins, exigences et contraintes en matière d'exploitation maintenance fera partie intégrante du programme de l'opération. Les spécifications seront reliées aux volets techniques du programme et caractérisées de manière à pouvoir être facilement extraites pour former la base d'un cahier des charges de consultation des prestataires.

À terme, le programme pourra se présenter comme un ensemble d'objets ou de règles dont les caractéristiques représenteront les besoins, exigences et contraintes du programme.

Le programme définira également les exigences du maître d'ouvrage en matière de structuration des données. Cela permettra au maître d'ouvrage d'obtenir une maquette compatible avec les autres éléments numérisés de son patrimoine. Ce sera également nécessaire pour permettre des échanges entre la maquette de construction et les logiciels d'exploitation maintenance.

Les données relatives au sol, aux existants (plans topographiques, plans des réseaux, plans des avoisinants) devraient également être fournies sous forme numérique compatible avec les logiciels utilisés pour l'élaboration de la maquette numérique. Cela nécessite également que toutes ces données aient été numérisées au préalable. Pour les réseaux c'est un travail qui incombe aux concessionnaires de ces réseaux.

Analyse des termes de la convention BIM

Le maître d'ouvrage pourra se faire assister de son AMO BIM pour analyser les termes de la convention BIM proposée par la maîtrise d'œuvre en réponse au cahier des charges BIM avant validation de cette convention par la maîtrise d'ouvrage. Cet AMO veillera notamment à la bonne prise en compte dans cette convention des cas d'usages du BIM (voir ci-après) retenus par le maître d'ouvrage.

Une adéquation programme /projet en mode BIM

Le maître d'ouvrage et ses AMO notamment le programmiste pourront en phase d'adéquation programme projet, lors de la remise des études d'APS et d'APD par la maîtrise d'œuvre, visualiser en 3D les propositions de la maîtrise d'œuvre. Cette visualisation de la maquette permettra de vérifier la cohérence intrinsèque du programme ainsi que la cohérence de la réponse apportée par le concepteur.

Le BIM peut permettre un suivi dynamique des études de conception par la maîtrise d'ouvrage, si cette dernière a un accès à la maquette numérique. Il convient que ce suivi soit bien encadré pour ne pas conduire à une immixtion de la maîtrise d'ouvrage dans la conception.

Usages du BIM

Le chapitre 2 a mis en avant tous les atouts d'une démarche BIM et notamment les gains de toute nature qu'une telle démarche est susceptible d'apporter. Un maître d'ouvrage en fonction de son organisation, du contexte de son patrimoine, des démarches qu'il a déjà mises en place pour la gestion, la valorisation, la numérisation de son patrimoine et de son expérience en matière de BIM, précise au travers de sa charte BIM et des cahiers des charges BIM ses attendus en matière de BIM.

Il définira ainsi des usages du BIM qu'il souhaite voir appliquer à l'ensemble de ses opérations ou à une opération en particulier. Cette définition des usages souhaités n'est pas figée dans le temps et sera susceptible d'évoluer avec l'expérience acquise en matière de BIM par le maître d'ouvrage. Ainsi un maître d'ouvrage pourra s'engager progressivement dans une démarche BIM en élargissant au fil de l'expérience acquise le champ des usages souhaités.

Médi@construct a rédigé dans le cadre des travaux du Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment un « Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM ». La version 1 de ce guide a été publiée le 6 avril 2016. Ce guide sans avoir la prétention d'être exhaustif, identifie 23 usages BIM. À chaque usage est attaché un processus intégrant des pratiques BIM. Ces usages sont définis de manière générique, il convient de les adapter aux spécificités des projets et des acteurs.

Liste des usages BIM identifiés dans le guide Média@construct :

- 1 Définition, analyse et vérification du programme
- 2 Analyse du site
- 3 Modélisation du site/données existantes
- 4 Communication du projet
- 5 Revue de projet
- 6 Production des livrables
- 7 Études analytiques (structure, lumière, performances environnementales, etc.)
- 8 Planification 4D et 5D (dimension temps et dimension ressources)
- 9 Extraction des quantités et valeurs significatives
- 10 Gestion de conflits à partir de maquettes numériques (synthèse géométrique et technique).
- 11 Organisation et coordination tous corps d'état pour l'exécution
- 12 Systèmes constructifs - préfabrication tous corps d'état
- 13 Support à la logistique
- 14 Analyse des performances effectives de l'ouvrage (et comparaison aux performances simulées)
- 15 Opérations préalables à la réception
- 16 Consolidation des DOE et DIUO
- 17 Gestion des ouvrages et équipements
- 18 Gestion des espaces
- 19 Contrôle de conformité aux exigences réglementaires à partir de la maquette numérique
- 20 Modélisation de conception
- 21 Modélisation des objets
- 22 Consultation, mise au point et passation des marchés
- 23 Modélisation de la constructibilité des ouvrages.

Les points de vigilance

Identifiés comme facteurs de réussite d'une démarche BIM, le maître d'ouvrage sera particulièrement vigilant vis-à-vis des points suivants :

- Une bonne définition des usages du BIM tels qu'identifiés ci-dessus est une condition essentielle de réussite d'une démarche BIM. C'est la première question que doit se poser le maître d'ouvrage qui souhaite s'engager dans une telle démarche, « le BIM pour quoi ? » C'est également la première attente d'une équipe de maîtrise d'œuvre face à un maître d'ouvrage s'engageant dans une démarche BIM. L'AMO BIM pourra assister le maître d'ouvrage pour déterminer les usages du BIM attendus par le maître d'ouvrage.
- Le BIM impacte généralement comme évoqué ci-avant l'organisation de la maîtrise d'ouvrage en mettant à contribution dans la démarche les différents services de la maîtrise d'ouvrage (service en charge de la construction, service gestionnaire du patrimoine, service informatique, service financier, service marché...). Cet impact sur l'organisation nécessite donc une forte implication de la direction seule à même de prendre le cas échéant les décisions relatives à des modifications nécessaires de l'organisation. Pour les maîtres d'ouvrage qui ne disposent pas en interne de l'ensemble de ces services et qui font donc appel à des assistances extérieures telle qu'un conducteur d'opération en phase de construction, la démarche BIM pourra conduire à redéfinir les relations de ces prestataires extérieurs avec les services internes. Le maître d'ouvrage doit accorder à ce sujet toute l'attention nécessaire. L'AMO BIM pourra être missionné pour être force de propositions en la matière.
- Lorsque le maître d'ouvrage dispose d'un outil informatique de gestion de son patrimoine, qu'il souhaite conserver, il veillera à ce que son processus BIM notamment en termes de numérisation de son patrimoine (structuration des données, géolocalisation, format d'échanges...) permette une migration des données dans son outil informatique. Il donnera ses exigences en la matière dans sa charte BIM et dans les cahiers des charges BIM. Il pourra s'appuyer sur son AMO BIM pour rédiger les clauses correspondantes. Si le maître d'ouvrage ne dispose pas d'un outil informatique de gestion de son patrimoine il conviendra néanmoins qu'il définisse son référentiel de données afin d'avoir une homogénéisation des données pour ses différentes opérations et pouvoir ultérieurement les basculer dans un outil informatique de gestion de patrimoine.
- Le maître d'ouvrage veillera également à mettre en place les moyens nécessaires, à l'instar de tous les acteurs impliqués dans une démarche BIM, pour permettre la formation et une bonne appropriation des outils BIM par ses agents. Il pourra procéder par étapes, en formant un premier cercle d'agents pour une opération pilote, puis par démultiplication, ces agents en formeront d'autres

4 / Comment lancer et conduire une opération en mode BIM avec les autres acteurs de l'acte de construire ?

BIM et maîtrise d'œuvre

Élaboration de la convention BIM par le maître d'œuvre à partir du cahier des charges BIM (matériels, logiciels, conditions de management...)

Le maître d'œuvre proposera dans le cadre de son offre une convention BIM en réponse au cahier des charges BIM intégré dans le dossier de consultation des concepteurs. Cette convention décrira 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. Elle traitera en particulier des aspects juridiques du contrat notamment en ce qui concerne la propriété intellectuelle et les conditions d'utilisation par le maître d'ouvrage des données numériques issues du processus BIM. On pourra se reporter utilement sur ce point au rapport du groupe de travail animé par Xavier Pican pour le compte du PTNB et du CSCEE (rapport référencé dans la bibliographie).

La méthodologie proposée par le maître d'œuvre pourra être un des éléments pris en compte par le maître d'ouvrage pour l'appréciation de l'offre de maîtrise d'œuvre dès lors qu'il l'aura prévu au titre des critères d'analyse des offres.

La convention BIM, une fois acceptée par le maître d'ouvrage deviendra une pièce contractuelle non seulement du contrat de maîtrise d'œuvre mais également des contrats avec les autres acteurs et notamment les entreprises moyennant les adaptations nécessaires. En effet, 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.

Le maître d'œuvre doit donc dès le départ rédiger cette convention en tenant compte de la capacité des autres acteurs à pouvoir répondre aux exigences formulées dans la méthodologie qu'il propose. Ce n'est qu'à cette condition que tous les gains espérés du travail collaboratif engendré par le BIM seront obtenus.

Médi@construct a rédigé dans le cadre des travaux du Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment un guide méthodologique pour l'élaboration des conventions BIM. La maîtrise d'œuvre pour proposer une convention BIM et la maîtrise d'ouvrage pour en analyser les termes et la valider pourront fort utilement s'inspirer de ce guide.

Le management du BIM ou BIM management consiste à s'assurer du bon respect des règles d'interopérabilité contractuelles tout au long du cycle de vie du bâtiment. Ces règles sont définies et affinées successivement dans la charte BIM, le cahier des charges BIM et la convention BIM.

Le maître d'ouvrage qualifie les attendus du management du BIM sur son opération et confie ce rôle à l'acteur projet le plus pertinent au regard des intérêts de son opération, de la compétence et des modes de passation des marchés. Plusieurs solutions sont possibles et sont à considérer.

Le BIM management pourra ainsi être confié à un membre de l'équipe de maîtrise d'œuvre.

Le maître d'ouvrage peut également confier cette mission à un AMO spécialisé tel que celui dont il se serait entouré le cas échéant pour sa charte BIM ou son cahier des charges BIM.

Enfin la maîtrise d'ouvrage pourrait également assurer elle-même le management du BIM pour peu qu'elle dispose en son sein des compétences en la matière.

La plateforme BIM c'est-à-dire l'infrastructure qui accueillera la maquette numérique et tous les moyens logiciels liés au BIM management (notamment les protocoles d'échanges entre tous les contributeurs du BIM et les conditions de sauvegarde, d'archivage et de traçabilité de toutes les interventions) pourra être définie dans le cahier des charges ou dans la convention en fonction du prestataire auquel le maître d'ouvrage décide d'attribuer l'hébergement de la maquette. La plupart des maîtres d'ouvrage ne disposant pas d'une telle infrastructure, c'est généralement la maîtrise d'œuvre qui proposera cette plateforme BIM. Pour les maîtres d'ouvrage qui en disposeraient,

ils peuvent proposer voire imposer l'utilisation de leur plateforme dans la charte BIM ou le cahier des charges BIM. Précisons également que dans le cadre des travaux du PTNB, une plateforme nationale pour le bâtiment est en cours de création.

La maquette numérique de conception

La maquette numérique de conception est élaborée par la maîtrise d'œuvre et peut être initiée dès les premières études de conception menées par l'architecte en phase d'études d'esquisse. Afin d'optimiser la démarche BIM et l'utilisation de la maquette numérique, il est fortement recommandé de spécifier les besoins, contraintes et exigences du programme sous un format permettant une interopérabilité avec l'outil logiciel de conception architecturale utilisé par l'architecte via l'utilisation de logiciels permettant de générer et d'intégrer des données au format IFC. Cette interopérabilité entre les logiciels devra également être de mise pour les logiciels métiers utilisés par les acteurs du projet (BET, économistes de la construction, entreprises, contrôleur technique, coordonnateur SPS...). Sans cette interopérabilité il ne peut y avoir de travail collaboratif efficace et facilité entre les membres de l'équipe de conception dès la phase d'études d'esquisses.

Cette maquette numérique de conception se précisera au fur et à mesure de l'avancement des études de conception (APS, APD, PROJET) et la part de travail collaboratif prendra de plus en plus d'importance.

Il convient de rappeler que la démarche BIM ne remet nullement en question le principe d'une approche itérative de la conception et est donc parfaitement compatible avec le phasage des études de conception tel que défini par la loi MOP et ses textes d'application (décret N° 93 1268 du 29 novembre 1993 et arrêté du 21 décembre 1993).

Cette maquette est constituée d'objets et d'espaces identifiés et renseignés (nature, composition, propriétés physiques, mécaniques, comportement, performances...) et devient au fil des études de conception un ouvrage virtuel représentatif de la construction à réaliser, de ses caractéristiques géométriques et des propriétés de comportement.

La démarche BIM s'appuyant sur une maquette numérique 3D constituée d'objets conduit naturellement pour chaque étape de conception à approfondir les études en anticipant parfois sur des besoins exprimés aux étapes suivantes. Les deux exemples suivants illustrent cette tendance.

En phase esquisse, une cloison est dans une maquette numérique représentée par un objet 3D et non plus par un trait gras. La cloison apparaît donc dès le départ avec son épaisseur, ce qui oblige donc la maîtrise d'œuvre à lui donner une épaisseur qui soit la plus vraisemblable possible d'où déjà un état de réflexion qui dépasse le stade de la simple esquisse.

En phase projet, les tracés des réseaux d'alimentations et d'évacuation des fluides sont également dans une maquette numérique représentés par des objets comportant plusieurs

attributs (forme, matériaux, débits, etc.) et non plus comme habituellement par des tracés unifilaires accompagnés d'une coupe de principe en section courante. Ces réseaux apparaissent alors avec leur tracé et leur diamètre réel tout au long de leur parcours, y compris aux points de conflit ou de franchissement d'obstacles, obligeant à nouveau la maîtrise d'œuvre à avoir un niveau de définition au stade des études de projet plus abouti.

Ainsi certains éléments des études de projet qui pouvaient être reportés en phase d'études d'exécution seront effectivement avec la maquette numérique réalisés en phase d'études de projet allégeant d'autant les études d'exécution. Il est d'ailleurs à noter que ce gain de précision en phase projet, bénéfique pour la consultation des entreprises, ne constitue qu'un retour aux exigences de l'arrêté du 21 décembre 1993 pris en application du décret n° 93-1268 du 29 novembre 1993, qui précise que les études de projet ont pour objet entre autres « de déterminer l'implantation et l'encombrement de tous les éléments de structure et équipements techniques ».

Toutefois, le maître d'ouvrage doit être conscient que ces anticipations permettent de délivrer une qualité d'études plus aboutie mais que toute la réflexion nécessaire pour parfaitement définir les objets n'a pas encore été menée. L'épaisseur du mur, de la cloison, le diamètre du réseau pourront être réajustés dans les étapes suivantes de conception. En d'autres termes, la maquette permet de fiabiliser et de conforter la pré-synthèse et les encombrements des éléments en phase conception, mais elle ne dispense pas de la synthèse en phase d'études d'exécution.

D'une manière plus générale, la maquette numérique de par la précision qu'elle semble apporter ne doit pas laisser croire au maître d'ouvrage que tout est parfaitement défini dès le stade d'une esquisse. L'approbation des différentes étapes de conception par le maître d'ouvrage consiste à valider ou à émettre des observations sur les éléments de conception qui doivent être figés à chaque niveau de conception. Ces niveaux et les livrables correspondants sont définis par le contrat en conformité avec les dispositions réglementaires définissant les éléments de mission de maîtrise d'œuvre et figurant dans les textes d'application de la loi MOP.

L'annexe II présente les niveaux de définition de la maquette numérique et les livrables correspondants à chaque étape des études de conception en cohérence avec les phases de conception telles que définies par la loi MOP et ses textes d'application. Ces éléments pourront figurer dans le CCTP du contrat de maîtrise d'œuvre tout comme les spécifications précises de la nature et du contenu des études d'exécution confiées à la maîtrise d'œuvre.

Des livrables extraits de la maquette numérique de conception

À l'issue de chaque étape de conception, le maître d'œuvre remet à la maîtrise d'ouvrage la maquette numérique conforme à son niveau de définition pour chaque étape de conception et



des rendus traditionnels sous forme de documents graphiques et écrits (plans, notices, descriptifs...) qui doivent être extraits pour tous ceux qui le peuvent de la maquette numérique et remis à la maîtrise d'ouvrage sans modification afin d'être en parfaite concordance avec la maquette.

Il faut entendre par documents extraits de la maquette numérique des documents produits par la maquette numérique suite à un traitement, à un calcul de données issues de la maquette numérique. Ils sont à différencier des documents qui peuvent être sauvegardés dans la maquette et restitués à tout moment sans nécessiter aucun traitement, fichiers de toute nature et toute origine constituant l'environnement numérique de la maquette.

L'approbation formelle de chaque phase de conception par le maître d'ouvrage se fera sur la base du rendu traditionnel qui seul fera foi en cas de litige.

Mais pour son travail d'approbation, la maîtrise d'ouvrage pourra, outre l'analyse traditionnelle des documents remis, bénéficier d'une meilleure compréhension du projet en s'appuyant sur la maquette numérique remise sous la forme de fichiers IFC dès lors que le maître d'ouvrage disposera d'outils logiciels lui permettant de reconstituer la maquette à partir des fichiers IFC, de la visualiser et d'en extraire les données nécessaires à l'approbation.

On peut estimer que ce travail d'approbation s'appuiera de plus en plus sur l'analyse de la maquette et de moins en moins sur l'analyse des rendus traditionnels. On comprend donc l'importance qui s'attache à la parfaite cohérence entre la maquette numérique et les rendus traditionnels. Afin d'être certain de cette parfaite cohérence, il y aura lieu, au-delà du contrôle des plans extraits de la maquette numérique, de contrôler les informations attachées aux objets graphiques.

Lorsqu'une maquette numérique de site aura été élaborée à la demande du maître d'ouvrage en phase de programmation, celle-ci sera une aide à la maîtrise d'œuvre pour parfaire l'insertion de son projet dans le site ou pour vérifier que les contraintes programmatiques de gabarit ou de volume sont respectées. Pour ce faire le maître d'œuvre insérera dans cette maquette de site les données de son projet extraites de sa maquette numérique de conception. D'où l'impératif d'avoir une interopérabilité entre la maquette de site et la maquette de conception donc entre les outils logiciels permettant de les générer.

Le maître d'ouvrage opérera de même pour visualiser l'insertion dans le site du projet proposé par le maître d'œuvre lors de la validation des études de conception. Le maître d'ouvrage ne doit pas s'immiscer dans la conception, dans le cadre de son travail d'approbation. Il peut formuler des observations, assortir son approbation de réserves mais en aucun cas proposer les solutions à ses observations et réserves.

L'annexe II précitée présentant les niveaux de définition de la maquette numérique à chaque étape des études de conception précise les documents graphiques et écrits remis par le

maître d'œuvre au maître d'ouvrage et de manière bien identifiée les pièces et valeurs qui sont extraites de la maquette numérique de conception.

La maquette numérique de conception issue des études de projet est communiquée aux entreprises à titre d'information lors de la consultation de ces dernières en procédure classique. Les plans du dossier de consultation sont extraits de cette maquette numérique.

À l'issue de cette phase de consultation des entreprises, le maître d'œuvre veillera, suivant ses conditions contractuelles, à apporter à la maquette numérique de conception, les modifications qui pourraient être induites par la mise au point ou la négociation des marchés de travaux avec les entreprises.

En cas d'acceptation de variantes proposées par les entreprises retenues, celles-ci transmettent à la maîtrise d'œuvre les modifications à apporter à la maquette numérique de conception. Ces modifications transmises sous un format interopérable sont intégrées après validation dans la maquette numérique de conception.

La maquette numérique de réalisation

Suite aux études de projet élaborées par la maîtrise d'œuvre et validées par le maître d'ouvrage, les études se poursuivent par la réalisation des études d'exécution confiées à la maîtrise d'œuvre ou aux entreprises ou encore pour partie à l'un et pour partie aux autres selon le choix du maître d'ouvrage. En cas de contrat global, elles sont confiées au groupement conception-réalisation.

La part d'études d'exécution qui ne fait pas appel aux savoir-faire et aux moyens des entreprises (plans et carnets de détails architecturaux par exemple) pourra avoir été réalisée par la maîtrise d'œuvre à la suite des études de projet et avant la consultation des entreprises.

Les études d'exécution menées par la maîtrise d'œuvre avant et après le choix des entreprises permettent au maître d'œuvre de développer et de compléter directement la maquette numérique de conception issue des études de projet. Les composants de la maquette et notamment les attributs des différents objets 3D se précisent, se caractérisent en prenant en compte les données des entreprises et des fournisseurs figurant dans les offres des entreprises retenues ainsi que les moyens de ces entreprises.

Celles réalisées par les entreprises, sur leurs propres maquettes numériques métier, sont soumises au visa de la maîtrise d'œuvre. Ce visa va encore aujourd'hui se faire formellement sur la base de documents et plans extraits de la maquette numérique métier de l'entreprise. Mais afin de faciliter ce visa les données relatives à ces études seront également extraites de la maquette numérique métier de l'entreprise et transmise à la maîtrise d'œuvre qui pourra par comparaison avec sa maquette numérique de conception délivrer son visa. Une fois le visa accordé, ces données seront attachées à la maquette numérique de conception, soit en intégration directe de ces

données dans la maquette numérique soit sous forme de pièces écrites ou graphiques associées ou encore sous forme de maquettes numériques associées venant préciser, caractériser des objets de la maquette numérique de conception.

L'attention des maîtres d'ouvrage est attirée sur la nécessité de leur implication pour définir dans le contrat du maître d'œuvre le degré d'intégration des maquettes d'exécution des différents acteurs, étant précisé qu'une intégration trop poussée, en l'état actuel des performances des matériels et des logiciels, peut conduire à des coûts d'études prohibitifs.

La maquette numérique de conception développée et complétée progressivement par les études d'exécution et de synthèse devient la maquette numérique de réalisation.

L'ensemble des composants de la construction n'a pas forcément vocation à apparaître sous la forme d'objets 3D dans la maquette de réalisation afin de ne pas avoir à manipuler des fichiers de données trop lourds qui pourraient nécessiter des équipements et des logiciels informatiques hors du commun. Ce sera notamment le cas du ferrailage dans les structures en béton armé coulé en place. Les plans de ferrillages 2D seront associés aux éléments de la structure et viendront ainsi caractériser ces éléments. Il en sera généralement de même pour le câblage terminal des réseaux électriques et informatiques.

Les informations demandées contractuellement et notamment celles caractérisant les composants sur leur durée de vie doivent être attachées à la maquette.

Il appartiendra à la maîtrise d'ouvrage de définir jusqu'à quel niveau de détail les composants de la construction doivent apparaître sous forme d'objets 3D dans la maquette numérique de réalisation.

La maquette de réalisation sera une référence sur laquelle s'appuiera la maîtrise d'œuvre pour assurer sa mission de suivi de la bonne exécution des travaux et de leur conformité aux prescriptions des marchés de travaux.

Cela nécessite bien sûr que cette maquette soit en totale conformité avec les pièces écrites et graphiques des marchés de travaux et avec celles issues des études d'exécution et de synthèse, ce qui sera le cas si toutes ces pièces sont bien à l'origine produites par extraction d'une maquette numérique (maquette numérique de conception ayant servi à la consultation des entreprises et maquettes numériques métiers).

En effet, en cas de litige voire de contentieux, ce sont les pièces écrites et graphiques du marché de travaux et celles relatives aux études d'exécution et de synthèse assorties du visa du maître d'œuvre qui feront foi pour déterminer les responsabilités. Les éléments de la maquette numérique peuvent néanmoins éclairer l'analyse en cas de litige.

En cas de modifications demandées en cours de chantier par la maîtrise d'ouvrage il conviendra que ces modifications, prises en compte par la maîtrise d'œuvre et par suite par les

entreprises, soient intégrées dans la maquette numérique de réalisation selon les modalités contractuelles prédéfinies par le maître d'ouvrage.

Remise du Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) au maître d'ouvrage sous forme d'une maquette numérique

À l'issue des travaux, le maître d'œuvre pourra utiliser la maquette numérique de réalisation comme support à la conduite des opérations préalables à la réception des travaux et notamment pour l'établissement des réserves à formuler dans la décision de réception prise par le maître d'ouvrage.

Un des points forts de la démarche BIM, au-delà de l'obtention d'une construction de qualité, réside dans la fourniture au maître d'ouvrage d'une maquette numérique de DOE. C'est la maquette numérique de réalisation dans son état lors de la réception des travaux, donc parfaitement représentative de la construction réalisée, qui devient la maquette numérique de DOE. Le DOE sous cette forme présente l'avantage d'être plus facilement exploitable que les traditionnels et volumineux dossiers de DOE dans la mesure où le maître d'ouvrage a spécifié suffisamment tôt ses attentes vis-à-vis de l'architecture de la base de données BIM. Pour que cette maquette numérique de DOE garde toute sa pertinence il convient qu'elle reste totalement représentative de la construction et soit donc maintenue à jour lors de modifications apportées à cette construction durant sa vie. Cette mise à jour doit également prendre en compte la question de la pérennité des supports de stockage et de la capacité des logiciels à relire des formats anciens. Cet effort de mise à jour périodique sera largement valorisé par les gains que pourra apporter cette maquette lors d'opérations de réhabilitation, de restructuration de l'équipement, en offrant une connaissance totale et facilité de l'équipement, réduisant fortement les travaux d'investigation en amont (relevés, diagnostics, expertises) pour ce type d'opérations.

Des missions complémentaires optionnelles (assistance au démarrage de l'exploitation, communication)

Le maître d'œuvre dans l'exécution de ses missions traditionnelles s'implique dans l'exploitation maintenance ultérieure de la construction. La démarche BIM renforce la nécessité d'une continuité entre la réception de l'opération et le démarrage de l'exploitation et de la maintenance.

La mission portant sur une assistance au démarrage de l'exploitation a pour objet d'apporter une aide à la maîtrise d'ouvrage et à l'exploitant pour la mise en service du bâtiment et l'optimisation de la conduite des installations techniques.

Par ailleurs, si le maître d'ouvrage souhaite renforcer ses actions de communication du fait des possibilités qu'offre la maquette numérique en la matière et notamment demande à la maîtrise d'œuvre de préparer des visualisations du projet spécifiques pour les publics visés par le maître d'ouvrage (utilisateurs, usagers, riverains, clients...),



il devra, si cette communication implique la maîtrise d'œuvre au-delà de ce qu'il apporte traditionnellement en la matière, le prendre en compte dans le contrat de maîtrise d'œuvre sous la forme d'une mission complémentaire. Car, même si la maquette numérique réduit le coût de ces visuels, ce n'est pas la maquette numérique telle qu'elle est remise au maître d'ouvrage aux différentes phases de conception qui peut servir directement pour ces visualisations. Il s'agit en fait de prestations que le maître d'ouvrage dans un schéma hors BIM aurait confiées à des prestataires spécialisés, prestations réalisées à partir des plans remis par le maître d'œuvre au maître d'ouvrage.

La mission complémentaire relative au démarrage de l'exploitation et celle relative aux actions de communication ne sont pas des missions complémentaires exclusives d'une démarche BIM mais une telle démarche est un élément moteur au recours à ce type de missions rendus notamment plus faciles par l'utilisation du numérique.

Ces missions complémentaires seront identifiées en tant que telles dans le contrat du maître d'œuvre ou et chacune sera assortie d'une rémunération forfaitaire spécifiquement déterminée à partir d'une estimation du temps à passer.

Le cas du concours de maîtrise d'œuvre en mode BIM

Dès lors que le maître d'ouvrage s'engage dans une démarche BIM initialisée en phase de programmation avec une présentation des données relatives aux besoins, contraintes et exigences du programme sous un format permettant à la maîtrise d'œuvre de les transférer sans ressaisie dans une maquette numérique, la continuité de la démarche BIM tout au long du cycle de vie d'une opération, conduit naturellement ou pour le moins incite fortement les concurrents d'un concours de maîtrise d'œuvre à s'engager eux-mêmes dans la démarche BIM dès cette phase de concours. Le concurrent qui deviendra lauréat du concours, puis attributaire du marché de maîtrise d'œuvre, pourra poursuivre son travail de conception sur la base de la maquette numérique créée dans la phase de concours. Il ne partira donc pas de zéro pour la réalisation de la maquette numérique de conception.

Si de plus une maquette numérique du site est fournie aux concurrents du concours par le maître d'ouvrage, l'incitation n'en sera que plus forte, cette maquette permettant à chaque concurrent de visualiser sa proposition de projet dans son environnement.

Le maître d'ouvrage peut même aller jusqu'à une obligation faite à chaque concurrent de remettre une maquette numérique au titre du rendu du concours. Dans cette hypothèse, le maître d'ouvrage devra prendre soin de définir avec précision le niveau de définition de cette maquette numérique et notamment les objets figurant dans la maquette ainsi que les informations attachées à ces objets. Ce niveau de définition devra être en parfaite cohérence avec le niveau annoncé du rendu du concours se situant généralement au niveau d'une

esquisse voire d'une « esquisse plus ». Les concurrents devront se conformer à ce niveau de définition sans aller au-delà sous peine d'être exclu. Cette maquette viendra en complément des rendus traditionnels sur panneaux. Les éléments graphiques (plans, coupes...) demandés sur les panneaux seront extraits de cette maquette. Cette obligation de rendre une maquette numérique n'a de sens que si cette maquette sert de support à la compréhension du projet par le jury. Ce dernier est chargé d'analyser les différents projets remis et d'en donner un classement sous la forme d'un avis au maître d'ouvrage. Cela nécessite donc la mise à la disposition du jury d'un outil de visualisation des projets à partir des maquettes numériques.

Même si pendant le concours, du fait de la mise en concurrence, les échanges sont réduits entre la maîtrise d'ouvrage et les concurrents, ce qui est en opposition avec la démarche BIM qui prône le travail collaboratif entre les différents acteurs, on peut néanmoins dire qu'en phase concours ce n'est pas simplement la production d'une maquette numérique mais déjà une démarche BIM qui s'opère entre les différents membres de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Cette expérimentation des processus d'échanges entre les membres de l'équipe de maîtrise d'œuvre en phase concours, facilitera d'ailleurs pour l'équipe de maîtrise d'œuvre lauréate du concours, l'élaboration de sa proposition de convention BIM en réponse au cahier des charges BIM. Cette convention sera proposée par le maître d'œuvre à l'issue du concours dans le cadre de la négociation du contrat avec le maître d'ouvrage.

Dans le cas d'un processus de conception-réalisation, les concurrents remettent une prestation se situant à minima au niveau d'un APS. On se retrouve donc dans une démarche qui peut s'apparenter au concours à la différence près que l'entreprise est partie prenante de la phase de consultation. C'est donc le groupement concepteur-entrepreneur qui va s'engager dans une démarche BIM pour répondre à la demande du maître d'ouvrage en la matière.

BIM et entreprises de travaux

Un dossier de consultation des entreprises intégrant une maquette numérique

Les entreprises de travaux apportent également leur pleine contribution à la démarche BIM dans le cadre de leurs relations avec la maîtrise d'œuvre.

Comme il convient d'impliquer les entreprises le plus tôt possible, il est judicieux de leur permettre de s'impliquer dans la démarche dès la phase de consultation

Et même avant cette consultation, le maître d'ouvrage pour sa charte et en procédure classique le maître d'œuvre pour la convention BIM soumise à la validation de la maîtrise d'ouvrage doivent prendre en compte les capacités et attentes des autres acteurs impliqués dans la démarche BIM, notamment les entreprises en phase de réalisation des travaux.

Les entreprises n'étant pas encore désignées en procédure classique le maître d'œuvre s'appuie sur son expérience et sa connaissance du milieu des entreprises pour appréhender au mieux leurs capacités et attentes en la matière. Une fois les entreprises désignées, cette convention BIM est réajustée pour intégrer les spécificités des entreprises retenues, avant de devenir une pièce contractuelle des marchés de travaux.

Le dossier de consultation des entreprises, comprendra les pièces administratives traditionnelles, la convention BIM proposée et le dossier technique.

Tous les plans du dossier technique seront extraits de la maquette numérique de conception dans son état au moment de la consultation des entreprises. La maquette numérique de conception dont ont été extraits les plans sera annexée au dossier technique, cette maquette étant communiquée aux entreprises à titre d'information.

Cette maquette facilitera la compréhension du projet par les entreprises engagées dans la démarche BIM et maîtrisant l'utilisation de la maquette numérique, leur permettant ainsi d'optimiser leurs offres. Chaque entreprise équipée des logiciels spécifiques à son activité fera une lecture de la maquette axée sur les éléments de la maquette qui la concernent. La maquette numérique se déclinera ainsi suivant la vue métier attachée à chaque discipline.

Comme précisé dans le chapitre relatif à la maîtrise d'œuvre la maquette numérique de conception pourra faire l'objet de reprises d'études à la demande du maître d'ouvrage suite aux modifications qui découleraient de la mise au point ou de la négociation des marchés de travaux avec les entreprises.

De même en cas d'acceptation de variantes proposées par les entreprises retenues, celles-ci transmettront à la maîtrise d'œuvre les modifications à apporter à la maquette numérique de conception. Ces modifications transmises sous un format interopérable pourront être intégrées, dès lors que le contrat de maîtrise d'œuvre l'aura prévu, après validation dans la maquette numérique de conception. Ceci implique que l'entreprise qui propose une variante travaille elle-même avec ses logiciels métiers sur une maquette numérique, initiée à partir de la maquette remise dans le dossier de consultation, afin de pouvoir en extraire les données relatives à la variante et les transmettre à la maîtrise d'œuvre.

Les plans des marchés de travaux seront extraits de la maquette numérique de conception éventuellement réajustée suite aux mises au point, aux négociations voire aux variantes acceptées, maquette elle-même annexée aux marchés de travaux.

La préparation du chantier

La période de préparation du chantier sera un moment clé pour la prise en compte par les entreprises de la démarche BIM mise en place par le maître d'ouvrage et dont les modalités organisationnelles sont décrites dans la convention BIM qui est une pièce contractuelle des marchés de travaux.

Maître d'œuvre et entreprises vérifieront la bonne interopérabilité entre la maquette numérique de conception et les outils logiciels utilisés par les entreprises pour élaborer leurs propres maquettes numériques métiers. Les premières études d'exécution produites par l'entreprise et nécessaires au démarrage du chantier permettront de s'assurer que le système d'échange avec la maîtrise d'œuvre fonctionne bien. Afin de permettre une parfaite mise en place du processus BIM entre la maîtrise d'œuvre et les entreprises, il pourrait être judicieux d'augmenter quelque peu cette période de préparation du chantier sans pour autant que cela conduise à une augmentation du délai global de réalisation des travaux.

Élaboration des différentes maquettes numériques métiers alimentant la maquette numérique de réalisation

Les entreprises réalisent la part d'études d'exécution que le maître d'ouvrage leur a confiée et dont le contenu est précisé dans les marchés de travaux. L'entreprise produit à partir de sa maquette numérique métier les plans d'exécution (livrables papier, prévus dans son marché) qu'elle transmet à la maîtrise d'œuvre chargée de donner son visa sur ces plans. En complément, l'entreprise extrait de sa maquette numérique métier les données relatives à ces études d'exécution et les transmet en format interopérable à la maîtrise d'œuvre. En confrontant ces données avec les données de la maquette numérique de conception la maîtrise d'œuvre pourra s'assurer que les études d'exécution produites par l'entreprise respectent les dispositions du projet et ainsi sécuriser la délivrance de son visa. Le BIM fiabilise ses échanges itératifs entre acteurs du projet.

Dans le cas où une entreprise ou un groupement d'entreprises a en charge les travaux pour plusieurs corps d'état (macro lots) il appartient à l'entreprise ou à l'entreprise mandataire du groupement dans le respect de ses obligations contractuelles de coordonner en interne l'ensemble des travaux dont elle a la charge. Elle doit également assurer la cohérence des études d'exécution produites pour l'ensemble des corps d'état concernés. Dans une démarche BIM, les maquettes numériques métiers élaborées par chacun de ces corps d'état devront donc être associées entre elles pour assurer cette cohérence des études avant transmission, par l'entreprise ou l'entreprise mandataire du groupement, des plans et données à la maîtrise d'œuvre. Cette entreprise pourra recourir à la mise en place d'une plateforme adéquate pour gérer et faciliter ce système d'échanges entre les corps d'état dont elle a la charge. De même, les entreprises s'appuyant sur de la sous-traitance doivent prendre à leur charge la production des plans et information unique et homogène.

Pour ce qui concerne la synthèse de l'ensemble des plans d'exécution produits par les entreprises (lots ou macro lots), le maître d'œuvre disposera, avec la maquette numérique de réalisation, de toutes les données relatives aux études d'exécution pour assurer dans les meilleures conditions cette synthèse. Les systèmes logiciels de détection des points de conflit dans la maquette numérique aideront le maître d'œuvre dans son travail de synthèse.



Une entreprise générale en charge de la globalité des travaux devra de la même façon assurer la coordination des études et des travaux de l'ensemble de ses entreprises sous-traitantes. Cette mise en cohérence de l'ensemble des études d'exécution inclura de fait le travail de synthèse, le tout étant soumis au visa du maître d'œuvre. L'entreprise générale pourrait également développer une plateforme commune sur laquelle travailleraient l'entreprise générale et l'ensemble de ses sous-traitants.

Le travail de l'entreprise sur sa maquette numérique métier peut ne pas s'arrêter à la production des seuls plans d'exécution et se poursuivre pour la production des plans d'atelier et de chantier (PAC).

Cinématique de la construction (phasage, sécurité...)

Au-delà de l'utilisation de la maquette numérique par l'entreprise pour produire des plans d'exécution et des plans d'atelier et de chantier, la maquette numérique permet à l'entreprise d'optimiser l'installation, l'organisation et le déroulement du chantier. Elle s'appuiera sur la maquette pour mieux déterminer les quantités à approvisionner, à mettre en œuvre en corrélation avec le planning qui sera lui-même bâti à partir d'une simulation des étapes de la construction faite à partir de cette maquette. La maquette permettra également d'anticiper sur les questions de sécurité des personnes travaillant sur le chantier par une organisation et un déroulement plus fluide du chantier. En fait c'est toute la cinématique de la construction qui est positivement éclairée par la démarche BIM.

Des livrables extraits des maquettes numériques métiers

Comme précisé ci-avant les plans d'exécution transmis à la maîtrise d'œuvre pour visa seront extraits des maquettes numériques métiers des entreprises. C'est sur ces documents que le maître d'œuvre apposera formellement son visa.

La remise des pièces du DOE et du DIUO au maître d'œuvre

Chaque entreprise ou l'entreprise générale doit remettre à la maîtrise d'œuvre toutes les pièces relatives au dossier des ouvrages exécutés (DOE) et au dossier d'intervention ultérieure sur l'ouvrage (DIUO) pour les travaux dont elle a eu la charge.

Dans une démarche BIM pleinement collaborative entre la maîtrise d'œuvre et les entreprises, ces dossiers se constituent tout au long du chantier et les pièces sont transmises progressivement à la maîtrise d'œuvre qui les rattache après validation à la maquette numérique de réalisation. Parmi ces pièces figurent entre autres tous les plans d'exécution réalisés par les entreprises. Ce schéma est totalement satisfaisant dès lors que toute modification de la nature des travaux sur le chantier fait l'objet en parallèle d'une modification correspondante de la maquette numérique de réalisation qui devient ainsi progressivement la maquette numérique de DOE.

Dans ces conditions, le maître d'œuvre devrait être en mesure de remettre rapidement après la réception des travaux la maquette numérique DOE au maître d'ouvrage qui pourra procéder à son approbation sans attendre la levée des éventuelles réserves. Cette maquette peut alors servir de support à la gestion des levées de réserves.

Le BIM et les industriels

Le renseignement de la maquette avec des produits ou des systèmes constructifs place les industriels au cœur des enjeux du cycle de vie du bâtiment numérique, mais aussi du respect de la libre concurrence.

Il y a besoin de normalisation pour établir une méthodologie commune de description et de gestion des propriétés des produits et systèmes. Cela va permettre d'harmoniser les dictionnaires de propriétés des produits. Début 2015, la norme expérimentale XP P07-150 dite PPBIM initiée par la France a été publiée et a été portée au Comité Européen de Normalisation.

Le BIM et le contrôleur technique

Si aujourd'hui le contrôle technique (norme NFP 03-100) continue de s'opérer sur les livrables traditionnels remis par la maîtrise d'œuvre (ESQ, APS, APD, PRO, EXE) ou les entreprises (EXE) et qui seuls font foi aujourd'hui, les professionnels du contrôle technique s'engagent également dans les démarches BIM. Les contrôleurs techniques peuvent conforter leurs actions de contrôle en s'appuyant sur la maquette numérique qui constitue un complément intéressant aux documents de conception et documents d'exécution traditionnels de la maîtrise d'œuvre et des entreprises. En effet, le contrôleur technique, à l'instar des autres acteurs, bénéficie ainsi d'une meilleure visualisation du projet. La condition indispensable à l'utilisation de la maquette numérique par le contrôleur technique est que les documents de conception et document d'exécution sur lesquels il formalisera son avis soient extraits de la maquette numérique. Le BIM devrait permettre au contrôleur technique de centrer encore davantage son action sur l'analyse de risque et la prévention des aléas techniques en le soulageant de certaines actions à moindre valeur ajoutée ou qui ne ressortent pas directement de sa mission (demande de documents, gestion d'interfaces...).

Le contrôleur technique se positionne en BIM utilisateur dans la mesure où il exploite les données de la maquette numérique mise à sa disposition par les contributeurs BIM sans y apporter de modification.

Lors de la consultation des contrôleurs techniques, le maître d'ouvrage joindra au dossier de consultation sa charte BIM, son cahier des charges BIM ainsi que la convention BIM dans son état au moment de cette consultation. Ces documents permettront au contrôleur technique d'être informé sur les

usages BIM retenus par le maître d'ouvrage, sur les niveaux de définition de la maquette numérique, sur les formats de fichiers etc. Le contrôleur technique proposera dans son offre de service, les modalités d'intervention BIM du contrôle technique.

Cette convention BIM, annexée à son contrat, intégrera ces modalités d'intervention, après échanges avec le maître d'ouvrage, dans un volet consacré aux processus BIM spécifiques à la mission de contrôle technique et notamment aux modalités d'échanges du contrôleur technique avec la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et les entreprises, à l'espace dédié sur la plateforme pour déposer ses avis.

À n'en pas douter, le travail du contrôleur technique s'appuiera de plus en plus sur la maquette numérique.

Le BIM et le coordonnateur SPS

Les professionnels de la coordination en matière de Sécurité et de Protection de la Santé des travailleurs (SPS) deviendront également à plus ou moins court terme des acteurs du processus BIM lorsque des outils logiciels leur permettront de s'appuyer en partie sur les maquettes numériques pour remplir leur mission. Comme pour le contrôleur technique, le coordonnateur SPS deviendra utilisateur de la maquette numérique et un volet de la convention BIM définira les modalités de ses échanges avec les autres acteurs

5 / Quelles incidences financières et économiques ?

Le retour sur investissement et les coûts de prestations du BIM pour ses acteurs

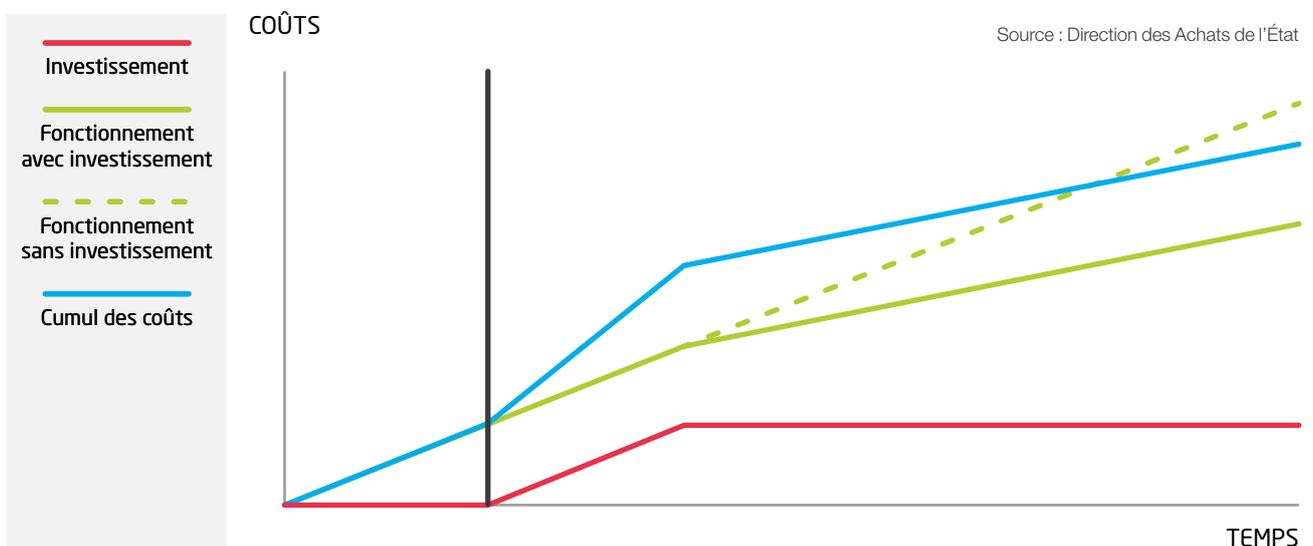
Pour comprendre les incidences économiques du processus BIM, il est nécessaire d'analyser les évolutions sous l'angle de l'économie de production pour le retour sur investissement interne, puis sous celui de l'économie de marché pour l'évolution des coûts des prestations.

Le retour sur investissement

En termes d'économie de production, le prix de vente d'un produit est la somme des coûts de l'entreprise majorée d'une marge bénéficiaire. Dans la chaîne de valeur continue entre les acteurs d'un projet de construction (maître d'ouvrage, maître d'œuvre, entreprises, AMO...), il faut retenir que le BIM représente un investissement dont il faut intégrer le retour sur investissement sur le coût global de l'ouvrage.

À ce titre le maître d'ouvrage aura à sa charge d'investir sur de la formation au profit de ses personnels internes en interaction avec la plateforme du BIM (services constructeurs, gestionnaires de site...). En fonction des compétences internes dont il dispose, le maître d'ouvrage pourra développer les fonctions spécifiques au BIM (charte et cahier des charges BIM, approbation des études, concertation, communication, commercialisation, réception des travaux, exploitation et maintenance) soit par la formation, soit par le recrutement, soit par l'externalisation. En parallèle, il devra également s'assurer que l'infrastructure de dématérialisation dont il dispose permet d'assumer les actions de stockage et d'archivage des données, d'accès dématérialisé par une plateforme, de débit d'information et de terminaux d'accès.

Pour obtenir un retour sur investissement, il est incontournable d'intégrer les facultés qu'offre le BIM dans les processus de fonctionnement, voire de modifier ces processus. En effet, le BIM a pour principale vocation à concentrer et à organiser l'information pour en améliorer la fiabilité, la conservation et l'accès de manière sensible pour les différentes phases du



cycle de vie de la construction, sous réserve d'une mise à jour effective. Il s'agit donc d'optimiser le recours aux ressources humaines et matérielles à travers la mise en place du BIM pour en recueillir les bénéfices.

Enfin, le maître d'ouvrage peut tirer parti du BIM pour ouvrir des axes de communication sur le bâtiment avec ses interlocuteurs, mais ces nouveaux axes de communication sont le résultat de l'interaction des informations avec les outils métier, et non d'informations supplémentaires fournies par les prestataires. Il doit également se montrer très vigilant à ce que la concentration d'information ne se retrouve pas captive, sous quelque forme que ce soit, d'un unique prestataire sous peine de subir une dépendance préjudiciable. À ce titre, il veillera à prévoir les licences nécessaires dans les contrats qu'il conclura avec les différents acteurs.

Les gains que peut apporter le BIM sont principalement des gains de productivité et des gains liés à l'exploitation du bâtiment. Le retour sur investissement intervient grâce à la réduction des coûts de production et d'exploitation. Le gain apparaît lorsque la somme des coûts avec l'investissement devient inférieure à la somme des coûts sans investissement. Dans le cas d'un ouvrage, ce rapport doit nécessairement s'envisager sur l'ensemble du cycle de vie de l'ouvrage.

L'évolution des coûts des prestations

En termes d'économie de marché, le prix de vente est dicté par la loi du marché. L'opérateur économique doit être capable de fabriquer le produit au prix de revient le plus bas pour dégager une marge de gain supérieure. Dans l'application de la démarche précédente sur l'économie de production, le BIM représente une opportunité prégnante pour l'opérateur économique.

Si la transition numérique nécessite que l'ensemble des acteurs de l'immobilier avancent de concert sur l'introduction du processus BIM dans leurs modes de production ou de fonctionnement, il est important de souligner que chacun d'eux peut tirer un avantage économique du nouveau processus dans le cadre de la bonne gestion et de l'évolution de son entité. Il revient à chacun d'établir un équilibre économique sain dans l'écosystème de l'opération immobilière de manière à ce que les gains de productivité soient perçus sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

Les coûts fixes d'investissement

Les coûts non exclusifs à l'opération sont à la charge de l'opérateur. Il les intègre dans ses prix à travers son propre modèle économique et notamment dans sa marge.

Les coûts de production supplémentaires

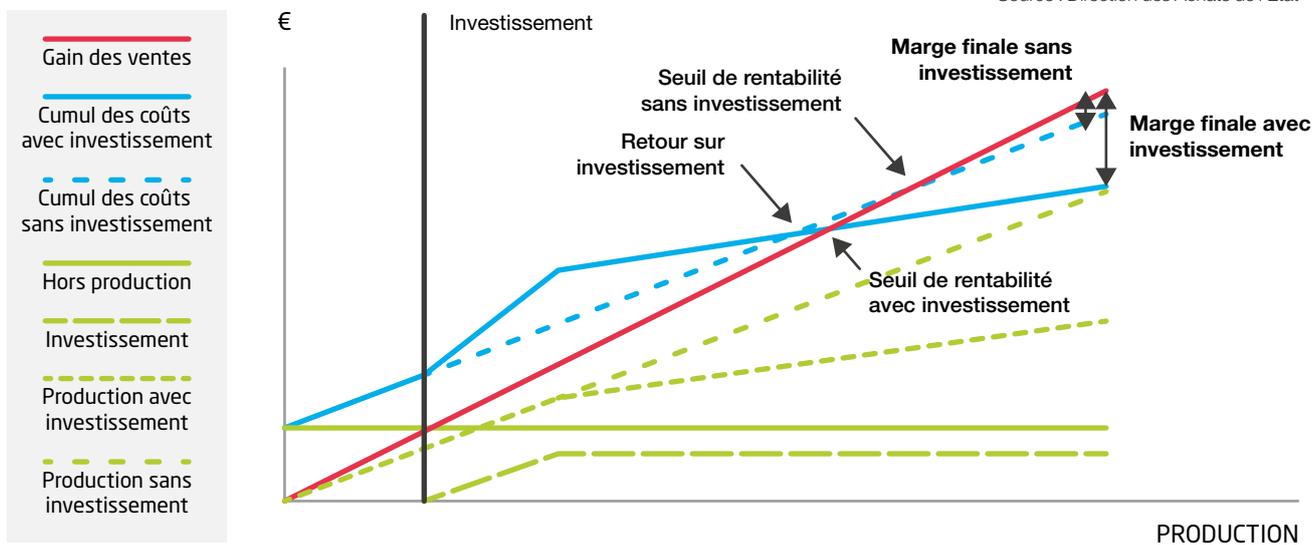
Les prestations supplémentaires et exclusivement destinées à l'opération de travaux, peuvent impliquer de nouveaux postes de coûts. Ces postes de coûts doivent absolument pouvoir être clairement identifiés dans les prix fournis par les offres.

Les coûts de production réduits

Les prestations réduites ou obsolètes doivent diminuer les postes de coûts traditionnels. Ces postes de coûts doivent réduire ou faire disparaître les prix associés aux prestations concernées.

Une démarche de gain de productivité réussie implique que la somme des coûts réduits soit supérieure à la somme des coûts supplémentaires. Un prestataire intégrant le processus BIM de manière vertueuse proposera donc à terme des prix inférieurs à ceux hors processus BIM par la diminution des coûts de production qu'il parviendra à engager sur l'opération.

Source : Direction des Achats de l'État





Des gains à terme sur le coût de la construction et le coût global

Le coût global dans le domaine de l'immobilier, sans dans ce guide développer dans le détail le concept, consiste à avoir une approche qui rassemble le coût d'investissement (coûts d'études, coûts travaux, coûts équipements, coût du foncier, coûts financiers...) et le coût de fonctionnement sur la durée de vie de l'équipement (coût de maintenance, coût d'exploitation, coût des travaux liés à des modifications fonctionnelles...) en un seul coût, le coût global. Les coûts liés au fonctionnement représentent environ les trois quarts du coût global. C'est donc sur la phase d'exploitation maintenance que se situent les gains économiques potentiels les plus importants. C'est pourquoi la démarche BIM dont un des objectifs est une meilleure prise en compte en amont de l'exploitation maintenance, doit conduire, en facilitant le travail d'exploitation maintenance, à des gains sur le coût global. Les gains ne seront probablement pas immédiats car il y a un temps de retour sur l'investissement consenti par tous les acteurs de la filière de la construction pour disposer des outils nécessaires (logiciels, matériels) et pour bien maîtriser tous ces outils (formation externe, interne).

Même si l'essentiel des gains attendus se situera en phase d'exploitation maintenance, des gains sur le coût de la construction pourront également à terme apparaître du fait d'un projet mieux optimisé, d'études plus précises réduisant les aléas qui surviennent en phase chantier. Pour autant il ne faut pas chercher une réduction à outrance des coûts de construction, car se serait contraire au concept du coût global qui conduit parfois à augmenter le coût de l'investissement pour économiser sur le coût global en réduisant les coûts d'exploitation maintenance.

Comme indiqué dans le chapitre 2 relatif aux gains du BIM et notamment les gains économiques, le BIM pourra permettre la mise en œuvre de la norme ISO 15 686-5 relative à une méthode de calcul du coût global d'une opération de la construction à la déconstruction.

Le contrat de maîtrise d'œuvre

Les paramètres de négociation du contrat

La rémunération de la maîtrise d'œuvre est librement déterminée entre le maître d'ouvrage quel que soit son statut, public ou privé, et le maître d'œuvre.

Le système de prix administré pour la maîtrise d'œuvre, tel qu'il existait pour les contrats passés par les maîtres d'ouvrage publics a été supprimé le 1^{er} juin 1994 avec l'entrée en vigueur du décret N° 93-1268 du 29 novembre 1993 pris en application de la loi MOP.

Ce décret précise en son article 29 que la rémunération à caractère forfaitaire du maître d'œuvre tient compte de l'étendue de la mission, du degré de complexité de cette mission et du coût prévisionnel des travaux.

C'est donc, dans tous les cas de figure, le contrat qui fixe contractuellement le montant de la rémunération de la maîtrise d'œuvre.

Le guide à l'intention des maîtres d'ouvrage publics pour la négociation des rémunérations de maîtrise d'œuvre de juin 1994 actualisé en janvier 2011 donne des recommandations en termes de méthode pour l'évaluation par le maître d'ouvrage d'un montant de rémunération de la maîtrise d'œuvre. Dans le cadre de cette méthode, le guide liste des éléments à prendre en compte pour apprécier la complexité de la mission. Parmi les éléments de complexité liés aux exigences contractuelles fixées par le maître d'ouvrage, figure un élément relatif à l'emploi de méthodes ou d'outils particuliers.

Si en 1994, les exemples donnés pour ces méthodes ou outils particuliers faisaient référence à des exigences en matière de DAO, d'armoires informatiques et de messagerie, aujourd'hui une démarche BIM exigée par le maître d'ouvrage pourrait figurer en phase d'introduction du BIM parmi ces méthodes et outils particuliers.

Mais c'est dans le cadre de la négociation du contrat entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre que ce sujet pourra être abordé en fonction notamment de l'implication du maître d'œuvre dans la démarche BIM exigée par le maître d'ouvrage (management du BIM, plateforme BIM) mais aussi du degré de pratique et d'expérience du BIM par le maître d'œuvre. Il convient pour le maître d'ouvrage de trouver un juste équilibre entre son exigence de précision de la maquette finale et les moyens accordés à la maîtrise d'œuvre. On soulignera en particulier que le travail requis pour élaborer un DOE numérique abouti est sans commune mesure avec celui consistant en mode traditionnel à rassembler dans un même dossier les études d'exécution des entreprises.

Il n'y a aucun automatisme en la matière, c'est une libre négociation qui est menée sur ces sujets en fonction des attentes et demandes de chacune des deux parties.

Précisons à ce titre, compte tenu de l'importance que revêt la négociation d'un contrat de maîtrise d'œuvre, que les nouveaux textes sur la commande publique, ordonnance n° 2015-899 du 23 juillet 2015 et décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 applicable à compter du 1^{er} avril 2016, permettent aux maîtres d'ouvrage soumis à ces textes de pouvoir négocier tout contrat de maîtrise d'œuvre comportant des prestations de conception (article 25 II 3 du décret, ou article 30 I 6 en cas de concours).

Une répartition des honoraires de maîtrise d'œuvre différente (renforcement des phases amont de conception)

La démarche BIM et l'utilisation de la maquette numérique conduisent la maîtrise d'œuvre, par le renforcement du travail collaboratif entre les membres de l'équipe de maîtrise d'œuvre dès les premières étapes de conception et par la nature même du travail sur une maquette numérique 3D constituée d'objets caractérisés, à approfondir les études menées à chaque étape de conception en anticipant parfois sur l'étape de conception suivante. Cet enrichissement des études de conception au bénéfice d'une plus grande précision et fiabilité des études doit permettre un allègement de certaines tâches de maîtrise d'œuvre en phase de réalisation.

Ce glissement de la charge de travail de la maîtrise d'œuvre vers l'amont devrait se traduire dans les contrats de maîtrise d'œuvre par un glissement équivalent de la répartition des honoraires sur les différents éléments de mission de maîtrise d'œuvre tout en préservant la nécessité d'une bonne disponibilité de la maîtrise d'œuvre en phase de réalisation pour permettre un suivi efficient des travaux. C'est le contrat qui fixera cette répartition qui pourra être un sujet de négociation entre le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre.

Des missions complémentaires

Les missions complémentaires optionnelles telles qu'elles ont été définies précédemment dans le guide (assistance au démarrage de l'exploitation, communication) seront identifiées et définies dans le contrat de maîtrise d'œuvre. Une rémunération forfaitaire spécifique sera attachée à chacune de ces missions complémentaires et déterminée le plus souvent à partir d'une estimation du temps à passer.

DOCUMENT 7

Définissez l'Environnement Commun de Données – Jérôme Cornu -

Openclassroom

Le processus BIM nécessite de mettre en place **des procédures de partage des données**. En raison de la fréquence des échanges et de la quantité des données partagées, l'utilisation des e-mails ne suffit pas, ni en termes de capacité ni en termes de traçabilité. C'est pour cela qu'il est nécessaire de mettre en place des solutions spécifiques de management de l'information de type "plateforme". On parle d'**Environnement Commun de Données** (CDE, pour Common Data Environment en anglais). Un CDE centralise les données communes du projet et permet à chacun des acteurs d'y accéder. L'établissement d'un CDE est une **étape obligatoire** pour la mise en œuvre du BIM sur un projet.

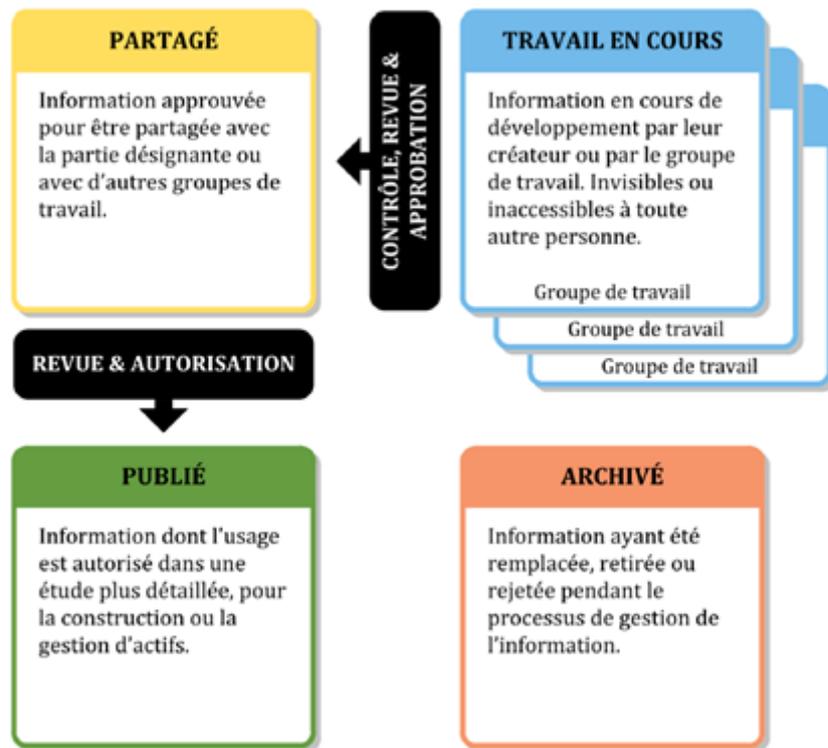
Il y a deux aspects à prendre en compte :

- D'une part, un environnement de **management de l'information** pour la gestion des données et des documents. Il peut s'agir d'un serveur de dépôt de fichiers de type Drive ou Dropbox, d'une solution de Gestion Électronique de Document (GED), de solutions d'intégration de données ou d'une combinaison de ces solutions. Cet aspect est nécessaire pour permettre la cohérence des informations et des fichiers, et faciliter le partage et la collaboration.
- D'autre part, un environnement de **management de projet** pour la gestion des calendriers, des plannings, de l'attribution des tâches, des tableaux de bord, etc. Cet aspect est nécessaire pour permettre le bon déroulement du processus BIM, en cohérence avec le processus du projet.

Certaines solutions permettent de gérer les deux aspects de centralisation des données et de management de projet de manière plus ou moins complète. Les solutions couvrant les deux besoins ont l'avantage de permettre **l'intégration et la continuité** entre les données de l'ouvrage et du projet, ainsi que de simplifier l'environnement de solutions du projet.

Le choix du CDE doit se faire **en cohérence** avec l'environnement de solutions des acteurs du projet et des fonctionnalités souhaitées. Il est important de prendre en compte le fait que chaque acteur a peut-être déjà mis en place une solution de plateforme pour la conduite de ses projets.

Concept d'un Environnement Commun de Données :



Environnement Commun de Données

Un environnement collaboratif encadré

Dans un processus d'échange collaboratif de maquettes entre différents contributeurs, il convient de définir un **Environnement Commun de Données** qui sera utilisé pour les besoins du projet en cohérence avec les pratiques des acteurs. Les éléments du CDE sont **définis dans la Convention BIM** sur un projet.

Les **principaux éléments** définis dans la Convention BIM pour le CDE sont :

- identifier l'environnement des solutions de management de l'information au sein du projet ;
- définir l'environnement de management de l'information retenu pour le projet ;
- définir l'environnement de management de projet retenu (s'il est différent de l'environnement de management de l'information).

Ensuite, l'ensemble des règles sont à décrire dans la Convention BIM ou des documents spécifiques annexés à celle-ci. La **Convention BIM** devra donc définir a minima :

- les administrateurs et les règles d'administration de l'environnement ;
- les profils des acteurs et les droits d'accès associés au niveau de granularité nécessaire (répertoire, modèle, document, fichier, objet, propriété) ;

- les procédures d'accès, de collaboration et d'échange (fréquence, caractère obligatoire ou non, etc.) et plus particulièrement les circuits de validation et de diffusion ;
- les protocoles de contrôle, de validation et de diffusion des données, modèles, fichiers et documents.

La Convention BIM établira les précautions à prendre pour l'éventuelle transition d'un CDE à un autre lors d'un changement de phase du projet. La Convention BIM décrira les mesures mises en place pour répondre à ce besoin avec une attention particulière pour la pérennité de la donnée.

Prescriptions diverses du CDE

Un certain nombre d'éléments devront être définis dans la Convention BIM pour informer les contributeurs sur les points suivants :

Qui utilise la plateforme BIM et à quel moment ?

Quels sont les protocoles de dépôt, de téléchargement, d'édition, de consultation, etc. ?

Quels sont les formats et la taille des fichiers supportés ?

Quels sont les prérequis des contributeurs ?

- Matériels
- Formations
- Charte de bon comportement
- Hébergement de la plateforme

Comment la pérennité des données est-elle assurée ?

- dans le temps ;
- physiquement (éloignement des serveurs) ;
- etc.

Comment la sécurité des données est-elle assurée ?

- politique de sécurisation des données ;
- politique des accès à la plateforme.

Comment sont gérés les accès des utilisateurs et leur traçabilité ?

- gestion des identifiants et mots de passe ;
- log de connexion ;
- Etc.

Quelle est la durée de vie de la plateforme ?

Quel est le niveau de portabilité de la plateforme ?

Quelles sont les fonctionnalités associées aux Usages BIM ?

Certaines plateformes proposent des **fonctionnalités** qui sont directement liées aux processus définis par les Usages BIM, notamment :

- les processus de collaboration et de coordination ;
- le contrôle des conventions de nommage ;
- l'extraction des quantités ;
- la visualisation de communication ;
- etc.

En résumé

L'**échange et la centralisation des données** sont un élément fondamental en management de projet BIM. Ils nécessitent un environnement numérique dédié et paramétré en fonction de **protocoles définis dans la Convention BIM**.

Le **CDE** permet de centraliser ces différents aspects. Il existe aujourd'hui des plateformes permettant un grand nombre d'actions regroupant GED, visionneuses avec annotations BCF, gestion de projet, etc.

DOCUMENT 8

Le temps de la convergence entre BIM et IoT pour des bâtiments « Plateformes de services » ou « smart building » ?

par [christian sabrié](#) - 2018-03-22 09:41:32



Pourquoi des smart buildings ?

Le numérique et la donnée vont permettre d'apporter l'agilité, la réactivité, l'engagement de performance aux ouvrages construits. Il suffit de confronter des projets d'aménagement à horizon de 10 ans à la loi de Moore pour mettre en évidence les évolutions qui restent à venir.

Le digital participe aujourd'hui à la construction d'un continuum numérique centré sur la vie des occupants d'un bâtiment ; en parallèle, les préoccupations sociétales concernant la qualité de vie au sein d'un bâtiment sont de plus en plus fortes. Du fait de leur nature évolutive, les bâtiments doivent s'adapter à la vie de leurs utilisateurs. En comprenant mieux les attentes et comportements des utilisateurs, l'investisseur peut y trouver l'opportunité de maîtriser l'obsolescence de ses biens et d'adapter en continu sa stratégie d'investissement.

La vraie révolution du numérique est de mettre en avant la valeur d'usage d'un bien ou d'un service. Nous assistons donc à une réforme « Copernicienne » du bâtiment, replaçant l'humain, le consommateur, l'occupant au centre. Toutes les formes d'innovation permettant de renouveler l'expérience utilisateur et de répondre aux enjeux de performance globale (environnementale, sociale, économique) peuvent ainsi trouver leur place, même dans un contexte de ressources finies.

Les bâtiments, les infrastructures urbaines, les moyens de transport doivent être conçus pour accueillir ces nouveaux usages. Pour répondre à ces besoins, le monde de l'immobilier amorce sa mutation grâce à un nouveau type de bâtiment : le « smart building » ou le bâtiment « plateforme de services ».

Le BIM, cerveau du Smart Building ?

Le BIM – Building Information Modeling, prenant appui sur une base de données partagée et des outils collaboratifs, permet de donner un nouveau sens aux données gérées par l'usage de chacun ; on découvre la complexité des échanges, la diversité des langages et des systèmes de pensée et on mesure également les opportunités portées par ces capacités à construire et gérer plus « intelligemment ». En ne limitant pas chacun des acteurs à son champ de connaissance, ce partage de données permet de nouvelles synergies et de nouvelles créations de valeur. Pour optimiser cette

création de valeur, il est essentiel de tenir compte du BIM dans une approche globale « en cycle de vie ».

Avec cette approche, le BIM crée un continuum de données entre conception, construction, gestion, rénovation et déconstruction du bâtiment. A la condition essentielle de s'assurer de l'exhaustivité, la robustesse et de la qualité des données, il permet la construction d'un « avatar numérique » qui relie ainsi le monde virtuel au monde réel.

L'IoT nourrit-il le cerveau du Smart Building ?

De manière générale, la révolution numérique ouvre la porte à la quantification de nos environnements. L'IoT par ses capteurs et actionneurs accessibles en quasi temps réel, révèle des phénomènes peu ou mal mesurés auparavant. Il relie le monde réel au monde virtuel en instrumentant notre environnement et en ouvrant de nouvelles possibilités de modélisation et de pilotage. Nos sens s'enrichissent ainsi de nouvelles perceptions qui, via le langage des mathématiques, nous révèlent des propriétés jusque-là inaccessibles et nous donnent des capacités extraordinaires d'analyse, de modélisation et de prédiction.

Le Smart Building support d'une nouvelle économie de la donnée ?

Des perspectives nouvelles sur la visibilité et l'interaction en temps réel avec le bâtiment apparaissent alors. Lorsque les données s'inscrivent dans la maquette numérique, elles gagnent la dimension de la géolocalisation et se contextualisent dans l'environnement.

La ville et les bâtiments connectés permettent la collecte permanente de données et transforment déjà usages et modèles économiques. Au-delà de l'analyse et de l'exploitation de ces premiers niveaux d'information apparaissent les premières applications de l'intelligence artificielle appliquées au bâtiment que l'on désigne par « bâtiments apprenants » ou « cognitifs ».

La nouvelle économie des plateformes : une révolution industrielle pour le secteur de l'immobilier, du bâtiment, de l'énergie ?

De nombreuses questions se posent pour les acteurs de la chaîne de valeur : qui est le régulateur et garant de la donnée numérique ? Quelles architectures sont sous-tendues ? Quels nouveaux modèles d'affaires et écosystèmes autour du partage des ressources, des technologies et des revenus ?

Ces questions trouvent aujourd'hui leurs réponses au fil des projets et des expérimentations et contribuent à la mise en place d'une nouvelle économie : celle des plateformes de services.

DOCUMENT 9

Définissez les niveaux de développement par phase de projet – Jérôme CORNU – Openclassroom

Le niveau de développement

La Convention BIM doit comporter les attendus sur le ou les **niveaux de définition** que la maquette numérique doit atteindre aux différents jalons de son élaboration et pendant sa période d'application.

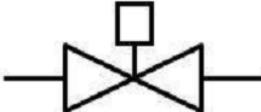
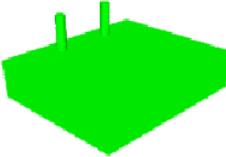
Le BIM Management, en référence aux nombreuses sources bibliographiques sur le sujet, doit au moins spécifier pour chaque classe d'objets :

- le niveau de représentation : **NdR** ;
- le niveau d'information : **NdI** ;
- le niveau de documentation : **NDoc** ;
- le niveau de complétude : **NdC** ;
- le niveau de coordination : **NCo**.

Le **niveau de développement** de la maquette numérique est le résultat d'une configuration de tout ou partie de ces niveaux.

Le Niveau de Représentation (NdR)

Pour chaque livraison de la maquette numérique, la Convention BIM doit définir le niveau de représentation (NdR). Il se décline selon les **6 niveaux** de détail géométrique suivants :

Niveau de détail des objets			
/	Néant	Aucune représentation	Les éléments concernés sont intégrés : - à l'ifc space dans lequel ils sont localisés - aux ifcwall ou ifcslab dont ils sont une couche
0	Marquage	Marquage 2D (pas de représentation)	
1	Symbole	Aucune information dimensionnelle	
2	Encombrement	Représentation 3D définie par une forme simple	
3	Représentation	Représentation 3D permettant de reconnaître l'objet (couches du mur, la position d'un évier sur le plan de travail)	
4	Représentation réaliste	Représentation 3D réaliste	

Niveaux de représentation

Il est utile de préciser que certaines classes d'objets peuvent ne pas être modélisées pour certaines livraisons de la maquette numérique. Dans ce cas, les informations relatives à un objet non représenté dans la maquette numérique peuvent être portées par un autre objet.

Le Niveau d'Information (Ndi)

Le niveau d'information est la résultante d'une combinaison de propriétés obtenue par les **processus d'Usages BIM** mis en œuvre. A minima, le niveau d'information pourra faire référence au schéma IFC. L'arborescence des IFC 4.1 ne comporte pas moins de 1 694 propriétés réparties dans 413 jeux de propriétés attributaires et 93 jeux de propriétés quantitatives.

Cette combinaison est spécifiée pour **2 types de configurations** de la maquette numérique :

- La maquette numérique (ou une partie) qui est diffusée pour **l'exécution des Usages BIM** retenus par la Convention BIM (pour une visite virtuelle par exemple).
- La maquette numérique qui est diffusée comme **livrable BIM** d'une phase du projet (au DOE, par exemple).

Il est recommandé que la Convention BIM indique les niveaux d'information requis pour chaque classe d'objets. Il est possible de spécifier une seule combinaison d'informations pour plusieurs Usages BIM.

Par ailleurs, la Convention BIM doit comporter de façon explicite le niveau d'information requis à la livraison de la maquette numérique pour une phase du projet. Il est recommandé que le niveau d'information à la livraison de la maquette numérique soit décliné jusqu'à la liste des propriétés attributaires et quantitatives pour chaque classe d'objets.

Le Niveau de Documentation (NDoc)

Il peut être demandé un niveau de documentation à la maquette numérique. Le niveau de documentation correspond à une **liste des documents liés** aux objets de la maquette numérique.

Le niveau de documentation est assuré par des propriétés attributaires des objets au format hyperlien vers un document ou une URL.

Par exemple, les attributs des objets de la maquette numérique des ouvrages exécutés devront permettre l'identification de la documentation associée et être disposés dans une arborescence structurée.

Le Niveau de Complétude (NdC)

Le niveau de complétude traduit la possibilité que la maquette numérique **ne soit pas modélisée avec le même niveau de représentation**, d'information, de coordination et de documentation pour tous les objets de l'ouvrage.

La maquette numérique peut avoir des niveaux de complétude différents :

- selon la ségrégation des maquettes ;
- selon la phase du projet dans le cycle de vie de l'ouvrage.

Par exemple, la maquette numérique d'un hôpital pourra être modélisée partiellement, de sorte qu'une chambre type sera l'objet d'un niveau de définition élevé, tandis que toutes les autres chambres du même type disposeront uniquement d'un identifiant qui renverra à cette chambre type.

De la même façon, on pourra modéliser le ferrailage d'un ensemble poteau-poutre et identifier cet ensemble dans le reste de l'ouvrage sans modéliser les armatures.

Par ailleurs, le niveau de complétude renvoie également aux **jalons de modélisation** des différents contributeurs. La Convention BIM peut spécifier une modélisation partielle des informations des lots techniques, par exemple pour la livraison de la maquette numérique dans les phases ESQ, APS, voire APD.

Le niveau de complétude de la maquette numérique pour la consultation des entreprises doit être maximal.

Le Niveau de Coordination (NCo)

Le niveau de coordination exprime le **niveau de résolution** des interférences spatiales, techniques et réglementaires, c'est-à-dire qu'il caractérise et priorise la gestion des collisions entre maquettes. La Convention BIM doit spécifier de façon explicite le niveau de coordination exigé pour la livraison de la maquette numérique.

Le niveau de coordination est croissant pendant les phases de conception et de présynthèse, pour atteindre son niveau le plus élevé pendant les études d'exécution et la synthèse.

Il convient de tolérer un niveau de coordination faible pendant les phases en amont de la conception ESQ, APS et APD. La gestion des réservations caractérise un niveau de coordination élevé de la maquette numérique.

En résumé

Les niveaux de développement permettent de savoir ce que nous devons dessiner, les informations et les documents que nous devons associer à la maquette, et cela de manière temporelle et par phase, généralement.

Nous avons souvent tendance à mettre trop d'informations ou à dessiner trop de détails trop tôt dans le projet. Les niveaux de développement permettent d'incrémenter la maquette juste ce qu'il faut, au bon moment, ni trop ni trop peu.

DOCUMENT 10

Comment intégrer le BIM dans un projet de construction ?



12 mai 2020 [By Anthony Cappellaro 1 comment BIM, BTP, construction, projet](#)

Afin de généraliser l'utilisation du BIM dans le bâtiment, notamment auprès des TPE/PME, le gouvernement a mis en place un plan BIM 2022.

Mais alors, comment cette méthodologie BIM s'intègre-t-elle au sein d'un projet de construction ?

Qu'est-ce que le BIM ?

Définition du BIM :

Le **BIM** (*Building Information Modeling*, ou *Modélisation des Informations du Bâtiment*), est une **méthodologie** de travail qui consiste à **récolter les données du bâtiment en temps réel** (*BIM data*), via une **représentation digitale en 3D de l'ouvrage** (*Maquette numérique BIM*), en vue de les partager et de **collaborer avec l'ensemble des intervenants du projet, tout au long du cycle de vie du bâtiment** : de la conception jusqu'à la démolition, en passant par l'utilisation.

Intérêt du BIM :

Les intérêts de cette représentation virtuelle des données du bâtiment sont de :

- **Éviter les erreurs de construction** : Conception de meilleure qualité, Détection des problèmes avant la mise en chantier ;
- **Effectuer des analyses et simulations à un stade précoce du projet** : Calcul énergétique, Calcul de structure, Détection des conflits et des interférences ;
- **Effectuer des contrôles** : Respect des normes, Respect du budget ;
- **Gagner du temps sur les différents processus métiers** : Visualisation du travail en cours et en temps réel.

Quelles sont les différentes maquettes BIM existantes ?

Types de maquette BIM :

Le plus souvent, afin d'alléger les modèles numériques, la **maquette BIM principale** du projet (*Modèle global*) regroupe des **maquettes BIM secondaires** (*Sous-modèles*) pour chaque corps de métier technique intervenant sur le projet, à savoir :

- **Maquette Architecture ;**
- **Maquette Structure ;**
- **Maquette MEP (*Mécanique Électricité Plomberie*) / Systèmes : CVC (*Chauffage, Ventilation et air Conditionné*), Génie-climatique, Plomberie, Électricité.**

Voici les différentes maquettes BIM d'un projet de construction :



Types de maquette numérique d'un projet de construction

Contenu de la maquette BIM :

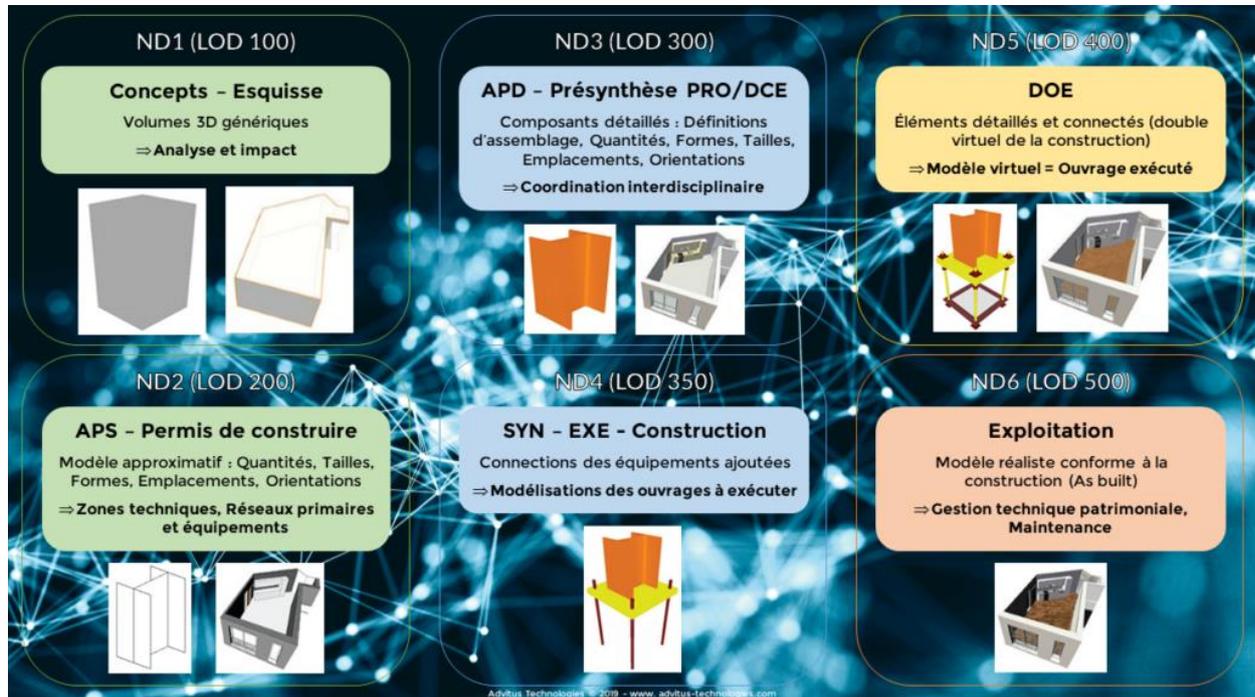
En amont du projet, le MOA (*Maître d'ouvrage*) indique le **niveau de renseignement attendu** pour les éléments constituant la maquette numérique, en fonction des exigences et des phases du projet de construction.

Ces **niveaux de développement** (*ND*, ou *LOD : Level Of Development*) ont pour objectif de :

- **Clarifier les responsabilités** entre le MOE (*Maître d'œuvre*) et les différents BET (*Bureaux d'Études Techniques*) qui interviennent sur le projet ;

- **Préciser l'obligation de rendre compte** des parties prenantes à chaque étape du projet ;
- **Rendre facilement accessible l'information** dont chaque corps de métier nécessite tout au long du projet.

Voici ce que contient la maquette BIM en fonction des niveaux de développement choisis :



Contenu de la maquette numérique en fonction des niveaux de développement choisis

À partir de la phase BIM DOE (*Dossier des Ouvrages Exécutés*), le **bâtiment réel et le bâtiment virtuel coexistent** puisque la maquette BIM est régulièrement mise à jour à partir des données recueillies sur le bâtiment en temps réel.

Cette représentation digitale du bâtiment en temps réel est alors appelée le **double numérique**, le **double virtuel**, ou encore le **jumeau numérique** (*digital twin*).

[Comment intervient le BIM dans un projet de construction ?](#)

Le lancement du *Plan BIM 2022*, résultat de la charte *Objectif BIM 2020*, est en train d'**accélérer la transformation digitale**, en généralisant l'utilisation du BIM dans la construction.

Cette **transition numérique** doit permettre aux acteurs du bâtiment de :

- **Construire mieux**, plus vite et moins cher ;
- **Exploiter et maintenir les bâtiments** de manière plus efficace ;
- **Maîtriser les risques** et prendre en considération les enjeux économiques, la qualité de vie et la transition énergétique.

Dans le cadre d'une construction ordonnée par une entité publique, la **loi MOP** (*Loi relative aux rapports entre la Maîtrise d'Ouvrage Public et la Maîtrise d'Œuvre Privée*) encadre les relations entre les différents intervenants du projet.

L'intégration de la méthodologie BIM dans le phasage d'un projet de construction y est alors réglementé.

Voici ce que doit contenir la maquette BIM à chaque phase du projet, selon la loi MOP :



Contenu de la maquette BIM en fonction du phasage d'un projet de construction

Quel est le rôle de chaque acteur BIM dans un projet de construction ?

Dans un projet de construction, le maître d'œuvre (Cabinet d'architecte) s'appuie en général sur les compétences de **sous-traitants spécialisés dans le BIM**.

Voici le rôle des différents acteurs du BIM :

BIM manager (ou Responsable BIM) :

- **Définir les règles du processus BIM** : Outils, Cahier des charges, Règles, Chartes de modélisation ;
- **Définir le rôle de chaque intervenant et coordonner le processus de numérisation** ;
- **Veiller au respect des exigences** : Techniques, Réglementaires, Environnementales.

BIM coordinateur (ou Coordinateur BIM) :

- **Être le chef d'orchestre du projet** : Interlocuteur entre le BIM manager et le maître d'œuvre ;
- **Superviser le BIM modelleur** : Veiller au respect des règles et chartes de modélisation ;

- **Garantir la qualité de la maquette numérique et en assurer la responsabilité.**

BIM modeleur (ou BIM modeler) :

- **Représenter l'ouvrage sous forme de maquette 3D** en respectant le cahier des charges ;
- **Réaliser le dossier pour le permis de construire ;**
- **Modifier la maquette numérique** selon les éventuelles évolutions architecturales ou techniques.

Comment modéliser une maquette BIM d'un bâtiment existant ?

Dans le cadre d'un ouvrage existant que l'on souhaite modéliser pour mieux gérer la vie du bâtiment (maintenance, réhabilitation, ...), le moyen le plus rapide est, si le budget le permet, de réaliser un **processus Scan to BIM**.

Pour engager ce processus, il faut tout d'abord **scanner l'intérieur et l'extérieur du bâtiment** à l'aide de :

- **Scanner dynamique / mobile** : Scan les données non structurées (Maquette Architecture) ;
- **Scanner statique / fixe** : Scan les données structurées (Maquettes Structure et MEP / Systèmes) ;
- **Drone** : Scan ce qui est inaccessible avec le scanner 3D (Toiture, Étages élevés, ...).

Ensuite, les points relevés par scan 3D, c'est-à-dire le **nuage de points**, sont utilisables par des **logiciels de traitement de nuage de points**, afin de :

- **Nettoyer le nuage de points** : Supprimer les points farfelus (Erreurs de relevé / mesure) et la végétation éventuelle ;
- **Recaler le nuage de points** : Géo-référencer le projet ;
- **Réaliser la maquette numérique** : En suivant le relevé de points, éventuellement à l'aide de plug-ins BIM pour automatiser la modélisation.

Conclusion

Cet article nous a permis d'**appréhender la méthodologie BIM** et de comprendre son **intégration dans un projet de construction**.

Dans le cadre d'un ouvrage existant, les technologies modernes de **scanners 3D** vous permettront de **relever les points géographiques de votre bâtiment** et ainsi **gagner du temps sur le processus de modélisation** de la maquette numérique.

Pour aller plus loin, des logiciels d'automatisation et des plug-ins BIM existent, afin d'automatiser davantage le traitement du nuage de points et la modélisation 3D.



Géolocalisation et géoréférencement d'un projet Revit

Safi Hage, BIM Specialist de la société Autodesk Enterprise Priority

20 novembre 2017

Depuis la version 2018, Revit permet d'importer les données SIG d'un fichier AutoCAD ou AutoCAD Civil 3D dès lors qu'elles ont été déclarées dans ceux-ci.

Pour cela, il faut lier le DWG dans Revit puis importer le système de coordonnées. Les coordonnées du point de topographie vont alors se mettre à jour et refléter la position ce point dans la le système projeté.

Par exemple, le fichier ci-dessous a été créé dans Civil 3D avec pour système de référence "RGF93" et comme projection associé "Lambert93" :

Zone

Categories: France

Available coordinate systems: Lambert-93 with RGF93 datum, whole country

Selected coordinate system code: Lambert93

Une fois ce fichier lié puis son système importé dans Revit on obtient dans les propriétés d'emplacement du projet :

Emplacement, météo et site

Emplacement Météo Site

Définir l'emplacement par:
Obtenir l'emplacement à partir du point de topographie

Il existe un emplacement unique pour chaque projet Revit qui définit où est placé le projet dans le monde.

Système de coordonnées Lambert93

Latitude: 47.001056349°

Longitude: 1.927818055°

et les coordonnées du point de topographie sont les suivantes :

Point de topographie (1) 	
Données d'identification	
N/S	6656201.2932
E/O	618532.7479
Elév.	0.0000
Géolocalisation	
Lat.	47.00°
Lon.	1.93°

Les propriétés du système de référence RGF93 sont stockées dans le fichier sous la forme d'une chaîne XML : (voir la propriété "GeoCoordinateSystemDefinition")

On retrouve ainsi :

- l'ellipsoïde associée : IAG GRS 1980

```
<GeodeticDatum id="RGF93">
  <Name>RGF93</Name>
  <Description>Reseau Geodesique Francais, RGF93</Description>
  <Authority>IGN Paris</Authority>
  <PrimeMeridianId>Greenwich</PrimeMeridianId>
  <EllipsoidId>GRS1980</EllipsoidId>
</GeodeticDatum>
```

- son demi grand axe "a" = 6378137m
- son demi petit axe "b" = 6356752.31414035m

soit un aplatissement "f" de 1/298.257222101

```
<Ellipsoid id="GRS1980">
  <Name>GRS1980</Name>
  <Description>Geodetic Reference System of 1980</Description>
  <Authority>Stem, L.E., Jan 1989, State Plane Coordinate System of 1983</Authority>
  <SemiMajorAxis uom="meter">6378137</SemiMajorAxis>
  <SecondDefiningParameter>
    <SemiMinorAxis uom="meter">6356752.31414035</SemiMinorAxis>
  </SecondDefiningParameter>
</Ellipsoid>
```

Les caractéristiques de la projection Lambert93 sont également stockées dans cette chaîne.

Revit peut donc calculer la latitude et longitude associée à ce point dans le système WGS84.

Par exemple si l'on désépingle le point de topographie et qu'on lui donne les coordonnées N/S = 6600000m et E/O=700000m qui correspondent au centre de la grille Lambert93, on retrouve bien une latitude de 46.5° soit 46°30' et une longitude de 3°.

Point de topographie (1) 		 Modifier le typ
Données d'identification		
N/S	6600000.0000	
E/O	700000.0000	
Elév.	0.0000	
Géolocalisation		
Lat.	46.50°	
Lon.	3.00°	

On assure donc la cohérence entre les coordonnées dans une projection et les données de géolocalisation.

ANNEXE 1

« Présentation du contexte » – INGECO – 2021

INGECO est une intercommunalité de 200 000 habitants dont la ville centre est INGEVILLE.

INGECO compte 4 pôles opérationnels et 1 pôle fonctionnel qui regroupe l'ensemble des directions et services de la gestion fonctionnelle. Outre les finances et les RH, ce pôle compte la direction des systèmes d'information dont le service d'information géographique fait partie.

Le patrimoine bâti de la Ville d'INGEVILLE et de l'intercommunalité d'INGECO est composé de 1 500 bâtiments pour une surface de 600 000 m².

Il est demandé à la direction des projets d'équipements publics de piloter un projet de conception et de construction d'un équipement public culturel intercommunal dédié à l'enseignement, la pratique et la diffusion artistique : Un bâtiment de 4 000 m² qui accueillera 2 000 élèves et qui comprendra, sur plusieurs niveaux, des salles d'enseignement et de pratique artistique : Plateau d'orchestre, salles de pratiques collectives pour instrument, studios de danse et de théâtre, salles d'audition, et un auditorium de 300 places qui sera ouvert au grand public.

Comme pour l'ensemble du patrimoine bâti, le service Maintenance d'INGECO :

- assurera l'entretien et la maintenance tous corps d'état de ce bâtiment
- pilotera les démarches liées à l'accessibilité, aux mises en conformité, à la sécurité incendie, à la sécurisation (vidéo protection,...)
- assurera la gestion des énergies (télégestion du chauffage, ...)

Le service Maintenance d'INGECO est sur le point de se doter d'un outil de GMAO, permettant de gérer les activités de maintenance de l'ensemble de son patrimoine bâti.

ANNEXE 2

« Présentation technique du SIG » – INGECO – 2021

▪ **Logiciels utilisés :**

Les services d'INGECO utilisent de nombreux logiciels. Certains ont un lien avec le sujet d'étude :

Le SIG d'INGECO :

- Le SIG est basé sur le logiciel ESRI de la société ESRI France.
- Le SGBDR gérant les données du SIG est PostGres Post Gis

Logiciels 3D :

- Rhinoterrain et Rhinocity de la société Rhinoterrain pour la gestion de la maquette numérique métropolitaine
- 3DSMAX de la société Autodesk pour l'infographie 3D
- 3DReshaper de la société pour la gestion des nuages de points

Les logiciels de CAO / DAO :

- Les outils CAO/DAO utilisés sont des produits Autodesk (Autocad LT, Autocad, Autocad Map, Architectural Desktop, tous avec maintenance évolutive)

▪ **Données du SIG d'INGECO :**

INGECO produit et gère une maquette numérique territoriale liée au référentiel bâti du SGBDR. La maquette numérique territoriale est diffusée suivant la norme CITYGML LOD 2.

La maquette numérique est produite en interne à l'aide des données suivantes acquises par l'intercommunalité (acquisition tous les 3 ans) :

- Orthophotographie aérienne d'une résolution de 10 cm
- Prises de vue aériennes orientées d'une résolution de 10 cm
- Modèle numérique de terrain : classe de précision altimétrique totale du MNT de 40 cm
- Restitution photogrammétrique du bâti (précision x, y, z EMQ de 20 cm)

La maquette numérique géoréférencée est constituée :

- Du modèle numérique de terrain photo-texturé
- Du bâti 3D photo-texturé produit est mis à jour par photogrammétrie tous les 3 ans

INGECO dispose aussi des données IGN mises à disposition par l'IDG Régional :

- BD CARTO ®,
- BD ORTHO ®,
- BD ALTI ®,
- BD ALTI MNT ®,
- SCAN 25 ®,
- SCAN 100 ®.

INGECO dispose d'un référentiel Voies et Adresses et dispose également d'un SIG où sont gérées, entre autre, les données relatives au cadastre, à l'urbanisme, aux espaces verts et à la voirie.

▪ **Données du projet**

- Plan topographique du site géoréférencé issu d'un levé de géomètre, de précision centimétrique, au format .dwg