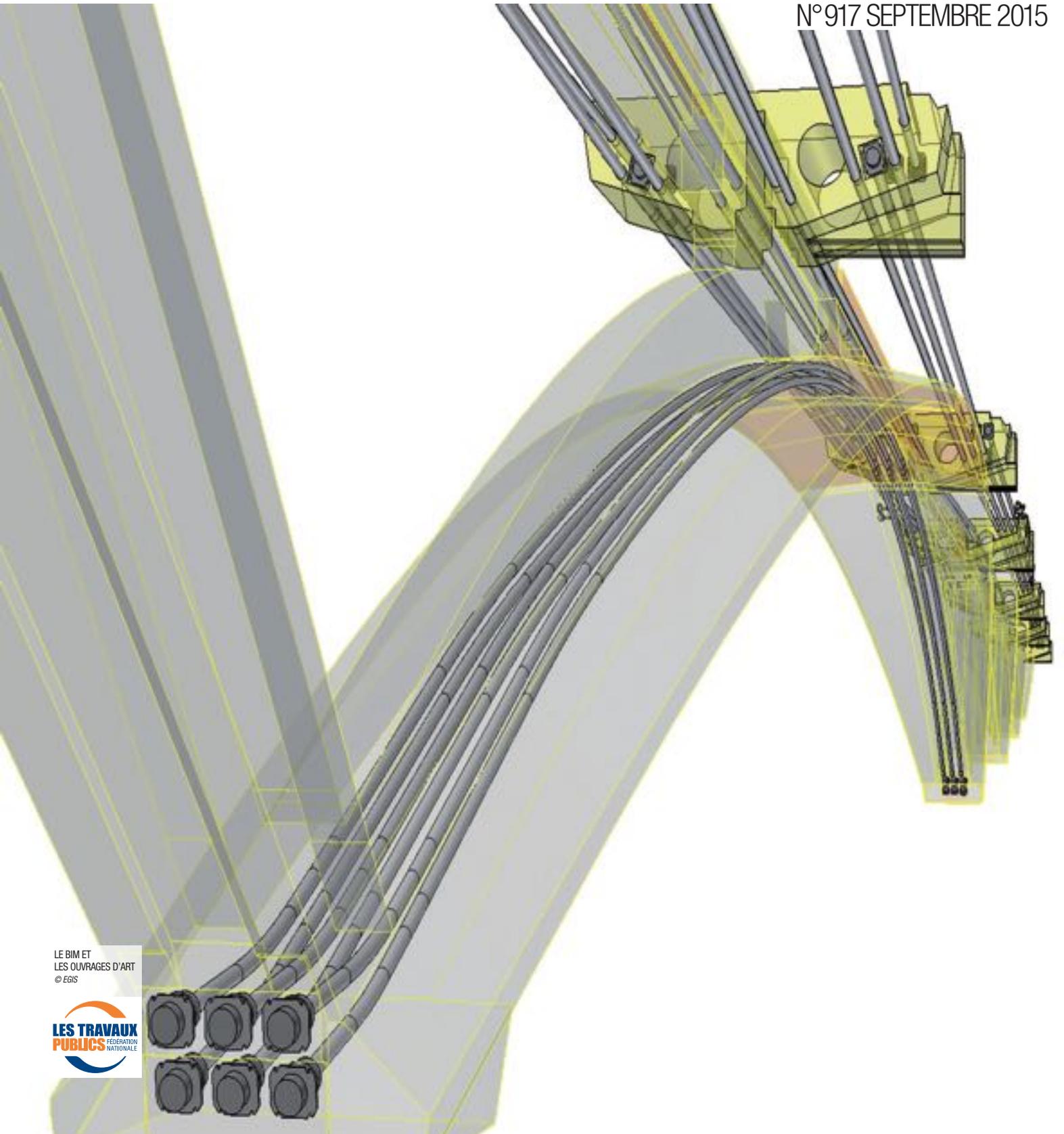


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SPECIAL BIM. INCONTOURNABLE EVOLUTION. PROJET NATIONAL MINⁿD. 5 ANS CHEZ INGEROP. NORMALISATION. MAQUETTE INTEGREE LOGEMENT. AU SERVICE DES DECIDEURS. OUVRAGES INTELLIGENTS. EXPORT ET MAINTENANCE. ROCADE L2 A MARSEILLE. STADE DE LILLE ET DOE NUMERIQUE. CITE DES CIVILISATIONS DU VIN. CANOPEE DES HALLES. NANTERRE-LA-FOLIE. TRONÇON 2 LIGNE 15. OUVRAGES D'ART. TOUR MAHANAKHON EN THAILANDE. FERRAILLAGE 3D. EXEMPLE DE SINGAPOUR

N°917 SEPTEMBRE 2015



LE BIM ET
LES OUVRAGES D'ART
© EGIS

**LES TRAVAUX
PUBLICS** FEDERATION
NATIONALE

Mardi 8h, un client me demande si mon entreprise et mes salariés sont bien protégés.

- J'ai plusieurs assureurs, cela va être compliqué.
- Je n'ai pas vu mon assureur depuis 5 ans : je suis perdu.
- Je reste serein : mes conseillers SMABTP et SMAvie sont là, ils ont tout prévu !



Franck et Sophie, conseillers en assurance SMABTP et SMAvie

« Quand un problème arrive à l'un de nos clients, ce n'est jamais celui qu'il imaginait ! Heureusement, notre expérience nous permet de réagir vite et d'apporter le meilleur conseil aussi bien en assurance construction qu'en assurance de personnes. Ensemble, nous répondons à tous les besoins de nos assurés. »

Fort de plus de 150 ans d'expérience, SMA assure les professionnels du BTP. Son expérience en fait un acteur incontournable qui vous accompagne à chaque instant.

Il vous apporte des solutions performantes pour l'exercice de votre métier, pour votre protection et celle de vos salariés, avec des interlocuteurs proches de vous et toujours disponibles !

Notre métier : assurer le vôtre

Retrouvez-nous sur
www.groupe-sma.fr

| | |
|---------------------------|---|
| ACTIVITÉ | Responsabilité décennale - Responsabilité civile Dommages en cours de travaux - Protection juridique |
| BIENS PROFESSIONNELS | Engins de chantier - Locaux - Véhicules |
| DIRIGEANTS ET SALARIÉS | Couverture des engagements sociaux - Épargne Prévoyance - Retraite collective et individuelle |

SMA

SMABTP, société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics, société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances - RCS PARIS 775 684 764 - 114 avenue Emile Zola - 75729 PARIS Cedex 15

SMAvie BTP, société mutuelle d'assurance sur la vie du bâtiment et des travaux publics, société d'assurance mutuelle à cotisations fixes, entreprise régie par le Code des assurances - RCS PARIS 775 684 772 - 114 avenue Emile Zola - 75729 PARIS Cedex 15

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

Directeur délégué
Rédacteur en chef
Michel Morgenthaler
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03
morgenthalerm@fntp.fr

Comité de rédaction
Hélène Abel (Ingérop), David
Berthier (Vinci Construction France),
Sami Bounatirou (Bouygues TP),
Jean-Bernard Datry (Setec), Philippe
Gotteland (Fntp), Jean-Christophe
Goux-Reverchon (Fntp), Laurent
Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar
(Eiffage TP), Florent Imberty
(Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis),
Stéphane Monleau (Soletanche Bachy),
Jacques Robert (Arcadis), Claude
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion
(Systra), Michel Morgenthaler (Fntp)

Pilotage de ce numéro spécial
Hélène Abel (Ingerop)

Ont collaboré à la rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copemic - 20 av. Édouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.fr

France (9 numéros) : 190 € TTC
International (9 numéros) : 240 €
Enseignants (9 numéros) : 75 €
Étudiants (9 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)

Publicité
Rive Média
2, rue du Roule - 75001 Paris
Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44
contact@rive-media.fr
www.rive-media.fr

Directeurs de clientèle
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr
Carine Reininger - LD 01 42 21 89 05
c.reinger@rive-media.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée
Com'1 évidence
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.com

La revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur
se réserve le droit de refuser toute insertion,
jugée contraire aux intérêts de la publication.

Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).

Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0116 T 80259
ISSN 0041-1906

LE BIM, UN VIRTUEL DE PLUS EN PLUS CONCRET



© DR

Difficile d'y échapper en ce début 2015 ! Après une longue période de gestation plutôt confidentielle, la « créature » s'est soudain réveillée pleine de vivacité. Partout des initiatives, des groupes de travail, des revendications de compétences. S'il y avait concurrence, on pourrait penser qu'elle va détrôner l'autre défi de la décennie que représente l'intégration du développement durable dans nos métiers.

Mais qu'est-ce donc ? Une représentation 3D des projets, plutôt séduisante et apte à fournir de belles images (fort utiles) ? Le **B**âtiment et **I**nformations **M**odélisés ? En fait, l'acronyme anglais est plus riche :

- **B**uilding **I**nformation **M**odel, ou maquette numérique du projet, dépositaire de toute l'information géométrique et technique du projet sur son cycle de vie, ou encore une base de données dont l'interface privilégiée est l'interface graphique ;
- **B**uilding **I**nformation **M**odelling, qui traduit qu'au-delà de l'outil, c'est le processus de sa mise en œuvre qui est essentiel ;
- **B**uilding **I**nformation **M**anagement, car tout processus doit être organisé et maîtrisé... comme le projet auquel il se rapporte.

« Plan de Transition Numérique du Bâtiment », « Bâtiment et Information Modélisés » laisseraient à penser que les travaux publics sont hors-jeu. Si on ne peut que constater un temps d'avance pour nos confrères du bâtiment, les ingénieries et les indus-

triels qui leur sont associés, ce serait une erreur que de ne pas voir que le potentiel de progrès concerne l'ensemble de la filière Construction, et que 80 % des questions que soulève la conversion au BIM ne sont pas différenciées. On ajoutera, avec un peu de fierté d'ailleurs, que c'est la France, à travers Media-Construct, chapitre français de Building Smart Intl (initiateur de la norme IFC permettant l'interopérabilité des échanges de données), qui a pris la tête du développement des IFC Infrass.

Quant à la mise en œuvre, on peut dire aujourd'hui que des outils sont disponibles qui permettent de prendre en charge en mode BIM sans aléa majeur tout projet courant voire complexe, comme le montrent chaque semaine les exemples relayés par la presse. Des questions importantes subsistent : techniques, comme celle - majeure - de l'interopérabilité des logiciels, de normalisation pour les objets des infrastructures, de management pour la définition des nouveaux processus de contrôle et d'approbation ou d'accès et de modification de la donnée, de droit et de contrats, comme la responsabilité relative à l'information fournie, la traçabilité ou le droit d'auteur. Plusieurs de ces sujets font l'objet du projet national de recherche MIN²D.

Investissements significatifs (hardware et software), formation de masse, changements culturels pour toute une filière : les défis sont importants et sont à relever alors que les énergies sont aussi mobilisées sur bien d'autres sujets également vitaux. Mais les bénéfices attendus du changement sont à la hauteur : communication, productivité, qualité, maîtrise des coûts et des délais, sécurité. Sans doute n'est-ce pas une panacée, mais c'est, avec certitude, un outil déterminant pour ceux qui voudront s'en saisir ! Nos voisins et concurrents internationaux, plus ou moins proches, tels les USA, Singapour, le Moyen-Orient, les pays scandinaves, la Grande-Bretagne, ont tous mis en place depuis de nombreuses années des politiques volontaristes d'adoption du BIM : le train de la numérisation du secteur est en gare de France : on peut monter dedans avec détermination... ou le regarder partir avec d'autres.

LOUIS DEMILECAMP

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE VINCI CONSTRUCTION FRANCE
PRÉSIDENT DU PROJET NATIONAL MIN²D
PRÉSIDENT DU COMITÉ NUMÉRIQUE DE LA FNTF



SPÉCIAL BIM

AÉROPORTS DU CAMBODGE © PHOTOTHÈQUE VINGT ET FILIALES





006 **ENTRETIEN AVEC BERNARD CATHELAIN**
GRAND PARIS, LA RÉVOLUTION NUMÉRIQUE
POUR CRÉER « LE MÉTRO LE PLUS DIGITAL DU MONDE »



010 **LE BIM,**
UNE INCONTOURNABLE ÉVOLUTION



014 **LE PROJET NATIONAL DE RECHERCHE
MIN⁰D**



020 **INGEROP ET LE BIM,**
DÉJÀ 5 ANS



024 **BIM ET NORMALISATION**



028 **LA MAQUETTE INTÉGRÉE LOGEMENT**
POUR UNE GESTION DE PROJET BIMée



032 **LA MAQUETTE NUMÉRIQUE**
AU SERVICE DES DÉCIDEURS



035 **DES OUVRAGES INTELLIGENTS**
GRÂCE À LA MAQUETTE NUMÉRIQUE (BIM)



040 **BIM À L'EXPORT :**
DE L'EXPÉRIMENTATION À L'INTÉGRATION
DE LA MAINTENANCE



048 **LA MAQUETTE NUMÉRIQUE**
DU PROJET D'INFRASTRUCTURE
DE LA ROCADE L2 À MARSEILLE



054 **STADE PIERRE MAUROY À LILLE -**
LA MAQUETTE NUMÉRIQUE COMME OUTIL
D'AIDE À LA CONCEPTION, FABRICATION
ET POSE DE LA FAÇADE - CONSTRUCTION
D'UN DOE NUMÉRIQUE



062 **LE BIM ASSISTE**
LA CITÉ DES CIVILISATIONS DU VIN

068 **CANOPÉE DES HALLES À PARIS :**
BIM MANAGEMENT ET INGÉNIERIE

074 **LE BIM AU SERVICE
DU PROLONGEMENT DU RER E.**
LE SECTEUR DE NANTERRE-LA-FOLIE
SOUS MAQUETTE NUMÉRIQUE

082 **UN EXEMPLE DE MISE EN ŒUVRE
DU BIM SUR LE TRONÇON 2 DE
LA LIGNE 15 DU GRAND PARIS**

088 **LE BIM ET LES OUVRAGES D'ART**

094 **BIM AU SERVICE DE MAHANAKHON,**
LA PLUS HAUTE TOUR DE THAÏLANDE

101 **LE PROCESSUS FERRAILLAGE 3D**

104 **BIM, LE BUILDING INFORMATION
MODELLING DANS LE MONDE -**
L'EXEMPLE DE SINGAPOUR



LA FONDATION LOUIS VUITTON UNE ARCHITECTURE INSPIRÉE QUI DOIT BEAUCOUP AU BIM

CET étonnant bâtiment dû au talentueux crayon de Frank Gehry, présente une géométrie pour le moins complexe.

Sa réalisation par Vinci Construction France (Petit, Dodin Campenon Bernard) sous maîtrise d'œuvre Setec Bâtiment, Studio Architecture, Rfr, T/E/S/S, a nécessité une maquette de travail collaboratif 3D (BIM) ainsi qu'un logiciel de calcul Ansys pour garantir la cohérence de l'ensemble. Ce BIM a aussi permis l'établissement d'un DOE structurel dont bénéficieront les générations futures. Comment faisait-on au temps de la planche à dessin ? Les architectes concevaient plus carré.

(voir articles pages 40 et 104).



© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

GRAND PARIS

LA RÉVOLUTION NUMÉRIQUE

POUR CRÉER « LE MÉTRO LE PLUS DIGITAL DU MONDE »

ENTRETIEN AVEC BERNARD CATHELAIN, MEMBRE DU DIRECTOIRE DE LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS. PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



© MARC MONTAGNON

Peut-être serait-il utile de rappeler en introduction quels sont, dans leurs grandes lignes, la nature et l'objet de la Société du Grand Paris (SGP) ?

La Société du Grand Paris est un établissement public créé par l'État pour réaliser le nouveau métro automatique du Grand Paris mais aussi, au-delà de l'aspect strictement « infrastructures », d'en faire un vecteur de développement du Grand Paris. La SGP a ainsi la possibilité d'intervenir sur les amé-

nagements autour des 68 nouvelles gares et va promouvoir de nouveaux services numériques pour participer au développement numérique de la métropole.

La SGP est une structure relativement légère par rapport au volume qu'elle a à traiter : nous sommes aujourd'hui 160 personnes. Elle est animée par un directoire de trois personnes qui ont une responsabilité collégiale autour du président Philippe Yvin, qui en assure l'animation et les relations institutionnelles, Catherine Pérenet, responsable des fonctions transversales et en particulier des questions financières et juridiques, des ressources humaines et de la valorisation du patrimoine, et moi-même, qui suis en charge du pilotage général du projet, depuis la conception jusqu'au suivi des travaux. Mes missions incluent également la passation des marchés et l'ingénierie environnementale.

Le réseau du Grand Paris, c'est un ensemble de 200 km de lignes nouvelles ou de prolongements de lignes existantes, la ligne 11 à l'est de l'agglomération jusqu'à Noisy-Champs et la ligne 14, au nord jusqu'à Pleyel

- 1- Bernard Cathelain.
- 2- Perspective Est de la gare Pont de Sèvres.
- 3- Le site de maintenance du réseau (SMR) de Champigny.
- 4- Le poste de commande du SMR de Champigny.
- 5- Le parvis de la gare d'Arcueil-Cachan.



© SGP/JEAN-MARIE DUTHILLEUL



© SGP

et au sud jusqu'à Orly. Les lignes nouvelles sont la ligne 15, grand périphérique de la petite couronne autour de Paris, la ligne 16 qui dessert la partie Est de la Seine - Saint Denis, la ligne 17 qui rejoint l'aéroport de Roissy - Charles-de-Gaulle et la ligne 18 qui relie l'aéroport d'Orly au plateau de Saclay et, au-delà, à Versailles.

Sur ces lignes sont implantées 68 nouvelles gares et 5 sites de maintenance. C'est un projet dont le budget s'élève à 23 milliards d'euros, dont les échéances de réalisation sont échelonnées dans le temps entre 2019, avec un premier prolongement de la ligne 14 au nord, jusqu'à 2030 avec l'achèvement complet du réseau que je viens de décrire.

Des mises en service successives sont prévues avec une échéance importante en 2024, en cohérence avec la candidature de Paris aux Jeux Olympiques. À cet horizon viendront s'ajouter aux lignes mises en service antérieurement (tronçon sud de la ligne 15 en 2022 et ligne 16 en 2023) la desserte des aéroports avec le prolongement de la ligne 14 jusqu'à Orly et la ligne 17 jusqu'à Roissy, ainsi qu'une partie de la ligne 18 entre Orly et le plateau de Saclay.

Le projet est essentiellement en souterrain puisque sur les 200 km, 170 km sont en tunnel, ce qui induit une très grande complexité de réalisation que nous pilotons avec l'appui d'assistants à maîtrise d'ouvrage, de maîtres d'œuvre et l'intervention d'entreprises pour réaliser les travaux correspondants.

Toutes les gares sont souterraines, à l'exception de cinq d'entre elles, aériennes, dans les secteurs où le métro est en viaduc. Nous créons des lignes nouvelles, en dehors du prolongement de la ligne 14, mais elles sont toutes en interconnexion très forte avec

BERNARD CATHELAIN : UN PARCOURS CONSACRÉ AUX INFRASTRUCTURES INTELLIGENTES

Bernard Cathelain, (X, Ponts) a commencé sa carrière d'ingénieur dans le secteur de la route, d'abord à la DDE du Val d'Oise, puis à la SANEF, dans une période intense de réalisation de sections autoroutières, avec, notamment, la conception et la construction des autoroutes A16 (entre L'Isle-Adam et Boulogne-Sur-Mer) et A29 (entre Saint-Quentin et Neuchâtel-en-Bray).

Dans une seconde phase de son « parcours autoroutier », il a également eu la responsabilité de l'amélioration de l'exploitation du réseau SANEF avec des projets et réalisations qui dépassaient le seul cadre de l'aménagement traditionnel (déploiement de la radio autoroutière 107.7, mise à disposition des opérateurs d'un réseau de fibres optiques mis en place dans la chaussée suivant un procédé original, consolidation du réseau de télécommunication nécessaire à l'exploitation, ...)

Bernard Cathelain peut ainsi être considéré comme un concepteur d'infrastructures intelligentes répondant à d'autres finalités que celles, matérielles, du transport en tant que tel.

Il intègre ensuite Aéroports de Paris, au sein duquel il passe 13 ans en tant que responsable du pilotage des projets, puis directeur général adjoint, avec le pilotage de l'aménagement des aéroports depuis la conception du plan-masse jusqu'à la réalisation et la mise en service, mais aussi le développement durable et la responsabilité sociétale d'entreprise, l'informatique et les télécommunications.

Bernard Cathelain était également président de Hub One, filiale télécoms du groupe aéroportuaire et, parallèlement, en charge d'animer l'innovation au sein d'Aéroports de Paris.

Il a été nommé, par décret du Président de la République, membre du Directoire de la Société du Grand Paris (SGP) en mars 2015.

À la SGP, il est plus spécifiquement chargé du programme de conception et de réalisation du projet de transport, de la fonction industrie et achats et de l'ingénierie environnementale.

les réseaux existants, le métro dans un certain nombre de cas, le RER, qu'il soit géré par la RATP ou la SNCF ou le réseau transilien.

L'autre particularité du projet est de s'inscrire dans des milieux extrêmement urbanisés, même s'il est pour l'essentiel réalisé au tunnelier.

La construction des gares, ainsi que la réalisation des émergences de service

pour les installations techniques et les issues de secours, avec un pas maximal de 800 m, suscitent une attention constante pour bien les insérer dans le territoire environnant.

L'enjeu est énorme. Pour donner une image, nous allons réaliser en 15 ans l'équivalent en linéaire de ce qu'est actuellement le métro parisien : 200 km de lignes.

Ayons à l'esprit que durant les 15 dernières années on a mis en service une quinzaine de kilomètres de lignes sur le métro parisien. Nous faisons appel à l'ensemble de l'ingénierie française pour réaliser ce projet, avec un découpage par tronçons, et nous cherchons à le faire avec les méthodes les plus modernes possible, à la fois pour des raisons de coûts et de délais mais aussi de qualité de l'insertion dans l'environnement urbain.

Comment le BIM est-il intégré à ce projet ?

Le BIM est un mode de conception des projets radicalement nouveau. L'image que je prendrai est la suivante : en termes de conception d'un projet, la révolution que nous faisons avec le BIM me semble équivalente à celle que l'on a connue quand on est passé de la planche à dessin à l'ordinateur. Le gap est à peu près identique - même si on fait toujours appel à l'ordinateur - mais avec une approche très différente qui repose sur une représentation en trois dimensions, avec d'emblée une visualisation et un positionnement par rapport à l'espace. Cette nouvelle approche ouvre la voie à des méthodes de travail plus collaboratives et à la prise en compte des cycles de vie du projet.

Pour nous, le premier enjeu est de pouvoir utiliser cette nouvelle technologie pour mieux appréhender ce que vont être le projet, ses impacts et son interaction sur l'environnement. Nous sommes dans une logique d'interface en trois dimensions et le fait de disposer très rapidement des maquettes numériques nous permettra de visualiser ce qu'est l'objet dans l'espace, mais aussi d'en décrire les propriétés physiques. Nous pourrions ainsi envisager les impacts des travaux et les traiter avec les différentes collectivités. ▷



Les documents dont vous allez disposer seront-ils tous en trois dimensions ?

La maquette numérique représentera l'ensemble des territoires traversés en l'état actuel et toutes les réalisations futures liées au réseau : tunnels, gares, sites industriels, puits d'accès, projets immobiliers connexes aux infrastructures de transports, équipements et mobiliers, matériels roulants.

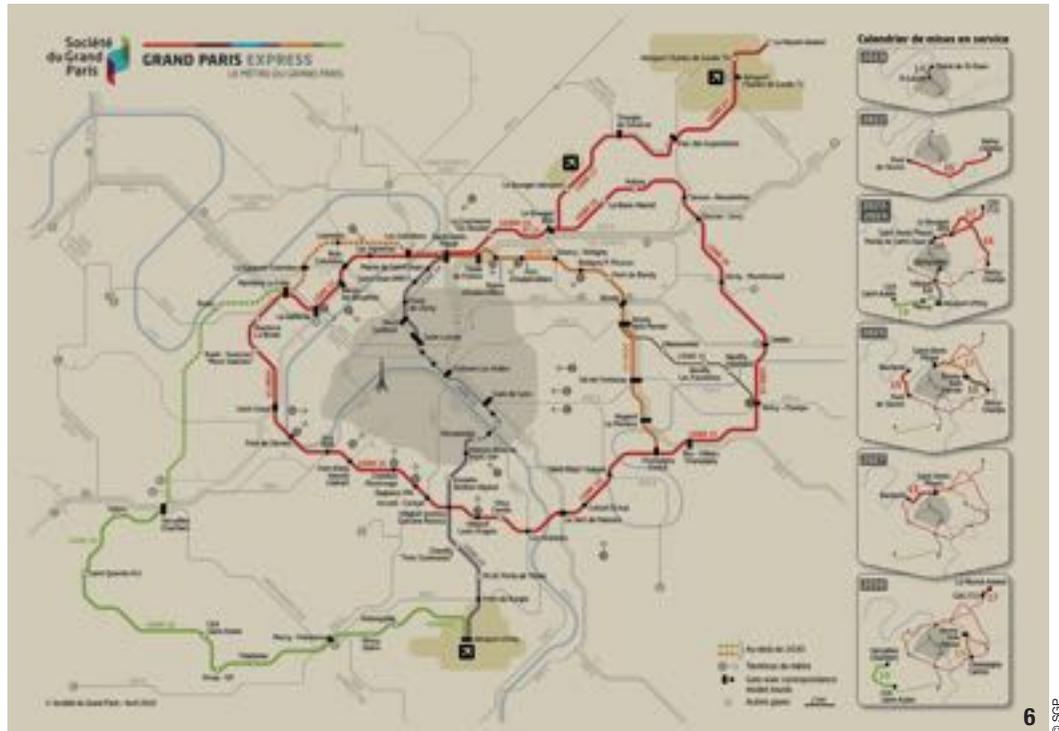
Cette visualisation globale sera d'une très grande qualité en matière d'esthétique, de réalisme, d'ergonomie et de fluidité dans la navigation.

Nous en aurons évidemment une traduction sous forme de plans mais notre objectif est de travailler sur des maquettes numériques dès la conception et d'avoir un raisonnement en trois dimensions également dès la conception.

Cela ne pose-t-il pas des difficultés à plusieurs niveaux ?

Un premier niveau est que le BIM, jusqu'à aujourd'hui, a été assez largement développé, même si son usage n'est pas encore universel, pour la conception de bâtiments. Il l'est moins - nous avons un gap à franchir - pour des travaux en souterrain. C'est ce premier élément qu'il va falloir que nous mettions en place ce qui n'est pas un problème car la Société du Grand Paris toute entière est encline à l'innovation. Nous avons besoin d'une numérisation 3D d'un territoire très vaste, qui servira de support d'intégration aux différentes maquettes BIM, avec des niveaux de précision qui vont très au-delà de ce que l'on a pu faire jusqu'ici.

Nous sommes tenus, pour matérialiser le projet, d'avoir une maquette numérique très détaillée qui permettra de voir comment l'infrastructure s'insère dans ses différentes phases, de l'étude jusqu'à la réalisation. C'est un outil qui



nous permettra également de comparer différentes variantes et de retenir celles qui sont le plus appropriées. À partir de là, même s'il s'agit d'un outil technique, la maquette numérique sera également un outil de communication sur le projet et servira à la création de supports d'information destinés au grand public. Elle constituera une base pour le dialogue au long cours que nous entretenons avec les riverains et les élus locaux.

Actuellement, la communication, même si elle s'appuie sur des simulations et des images numériques, peut présenter des difficultés pour des personnes qui ne sont pas habituées à consulter des plans. Le fait de pouvoir traduire le projet dans un volume et de le présenter sur un écran d'ordinateur, voire même dans une salle immersive avec

des lunettes stéréoscopiques comme nous nous préparons à en réaliser une, apporte une vision plus familière dans laquelle on retrouve l'espace et la ville que l'on connaît et dans lesquels vient se superposer l'objet métro.

6- Le réseau Grand Paris Express.

7- Le hall de la gare de Noisy-Champs.

8- La route de la gare de Vitry Centre.

9- Le hall d'entrée de la gare des Ardoines.

10- Vue axonométrique d'un SMR.

Ceci permet de faciliter le dialogue avec les collectivités et avec les riverains, de mieux leur faire comprendre ce que nous allons faire et, dans la démarche très forte de concertation avec le territoire qui est le nôtre, de disposer d'un outil qui s'avèrera extrêmement précieux.

Nous disposons actuellement d'une première numérisation sur la ligne 15 Sud que nous allons affiner mais qui permet déjà d'avoir cette vision en 3D. L'autre défi est de mettre l'ensemble des acteurs dans cette démarche.

Il faut évidemment que tous les bureaux d'études s'y inscrivent. Il faudra ensuite que, dans la conception et la préparation des chantiers, les entreprises y rentrent également, les grandes mais aussi celles qui le sont un peu moins, ce qui nécessite que

© SGP/JEAN-MARIE DUTHILLEUL



© SGP/KING KONG



L'on prenne des précautions pour ne pas fausser la concurrence en privilégiant ceux qui auraient davantage de moyens pour répondre à ce défi.

L'aventure va d'ailleurs au-delà de la réalisation puisque, à l'issue de la mise en service, le fait d'avoir une maquette en 3D après que l'ouvrage aura été exécuté, peut présenter un intérêt certain pour ce que l'on appelle les DOE⁽¹⁾ car cela permettra à ceux qui auront en charge l'exploitation et la maintenance de la ligne de pouvoir les organiser à partir de la modélisation offerte par la maquette en 3D.

C'est vraiment un enjeu très fort pour nous, d'abord dès la phase de concertation mais aussi parce que le projet a une telle ampleur qu'il nous paraît constituer une excellente opportunité pour booster une technologie encore nouvelle. Là encore nous croyons aux effets positifs de l'innovation. D'ailleurs, cette démarche correspond parfaitement à notre volonté de faire du Grand Paris Express une référence en termes d'innovations technologiques pour bâtir le métro le plus digital du monde.

Dans la phase de consultation des entreprises, comment allez-vous procéder vis-à-vis de celles qui ne sont pas encore équipées en moyens de conception et de réalisation répondant aux impératifs du BIM ?

C'est un point que nous sommes en train d'examiner. Cela peut être en leur fournissant le prestataire qui leur permettra de disposer des moyens nécessaires. Le problème ne se pose trop pour les premiers gros travaux, notamment de percement des tunnels. Mais notre volonté est d'appliquer cette démarche à l'ensemble des travaux liés au projet.

C'est la première fois que la démarche BIM sera mise en œuvre à grande

GRAND PARIS : LE DÉCOUPAGE EN TRONÇONS

Pour le pilotage de sa mission et l'organisation de la conduite du projet, la SGP a découpé les lignes du Grand Paris en tronçons, chacun géré par une équipe de projet :

- Le Bourget – Noisy-Champs ;
- Noisy-Champs – Villejuif ;
- Villejuif – Pont de Sèvres ;
- Pont de Sèvres – Saint-Denis Pleyel ;
- Saint-Denis Pleyel – Le Mesnil Amelot ;
- Olympiades – Aéroport d'Orly ;
- Aéroport d'Orly – Versailles Chantiers ;
- Saint-Denis Pleyel – Champigny.

Les tronçons « Noisy-Champs – Villejuif » et « Villejuif- Pont de Sèvres » constituent la ligne 15 sud, secteur dont les travaux vont commencer à l'automne 2015, dans l'objectif d'une mise en service en 2022.

Chaque tronçon est confié à un groupement de maîtrise d'œuvre distinct, en charge de la conception et de la réalisation de l'infrastructure, avec des titulaires comme Egis-Tractebel, Setec-Ingerop, Systra..., auxquels sont associés différents cabinets d'architectes. Les systèmes font l'objet d'une approche spécifique, en lien étroit avec l'infrastructure.

échelle pour des ouvrages de génie civil et pour la plupart en souterrain, ce qui ajoute à la complexité. Mais je pense que s'il y a un projet pour lequel il faut bien se lancer avec le BIM, c'est celui du métro du Grand Paris, en raison de ses ambitions et de son ampleur.

Cela justifie que nous investissions avec détermination dans cette démarche et je pense que, lorsque nous serons dans les dernières années de réalisation du projet en 2030, on ne comprendrait pas que l'on ait procédé différemment parce que je suis persuadé qu'à cet horizon le BIM sera devenu aussi courant que l'est aujourd'hui la conception sur ordinateur.

Quelqu'un qui traiterait différemment un projet à cette échéance serait regardé avec le même étonnement que

celui que l'on peut éprouver aujourd'hui vis-à-vis d'un interlocuteur qui continue à utiliser sa planche à dessin pour concevoir un bâtiment.

À quel stade d'avancement du projet en êtes-vous actuellement ?

Notre objectif est d'achever la maquette territoriale en 3D sur l'ensemble du secteur concerné pour l'automne 2015. Pour les premières consultations qui seront lancées pour les travaux de la ligne 15 Sud, dès la phase d'appel d'offres qui va être longue compte tenu de la complexité des ouvrages, nous prévoyons de fournir aux entreprises les maquettes numériques des études correspondantes pour qu'elles puissent chiffrer le montant de leurs interventions et, lorsqu'elles auront fait

elles-mêmes leurs études d'exécution, de les intégrer à la maquette mise à jour avec les documents d'exécution. Les entreprises vont inclure à notre maquette 3D leurs maquettes d'exécution également en 3D.

Il restera alors à nos maîtres d'œuvre, qui ne l'avaient pas prévu initialement, d'inclure dans leurs prestations la validation de ces maquettes numériques. La ligne 15 Sud va nous servir de premier test. À l'horizon 2017, lorsque nous aborderons la réalisation des autres lignes, nous disposerons ainsi du processus complet en phase de travaux avec l'établissement des différentes étapes, ainsi que d'un catalogue des produits dès lors que certains d'entre eux vont se retrouver de façon répétitive à l'intérieur de nos installations.

Là où on atteint une quatrième dimension, c'est sur l'aspect construction. À partir de la maquette 3D où l'espace, la structure et l'architecture sont simulés, les entreprises en déduisent le dimensionnement des différents éléments constitutifs de l'ouvrage et la façon de les mettre en œuvre. Cette quatrième dimension est une dimension temporelle relative à la réalisation de l'ouvrage.

Quant à la cinquième dimension, elle concerne la maintenance de l'ouvrage réalisé, au travers des DOE 3D, c'est-à-dire une projection dans l'espace et dans le temps.

Pour conclure, la volonté de la SGP est d'impulser une démarche et des usages sur l'ensemble du cycle de vie de ses infrastructures, de la conception à la maintenance, et surtout de permettre aux ingénieries, cabinets d'architectes et Entreprises du BTP de Taille Intermédiaire d'accéder rapidement à ces nouvelles méthodes de production. □

1- DOE : Dossier d'Ouvrage Exécuté.



LE BIM

UNE INCONTOURNABLE ÉVOLUTION

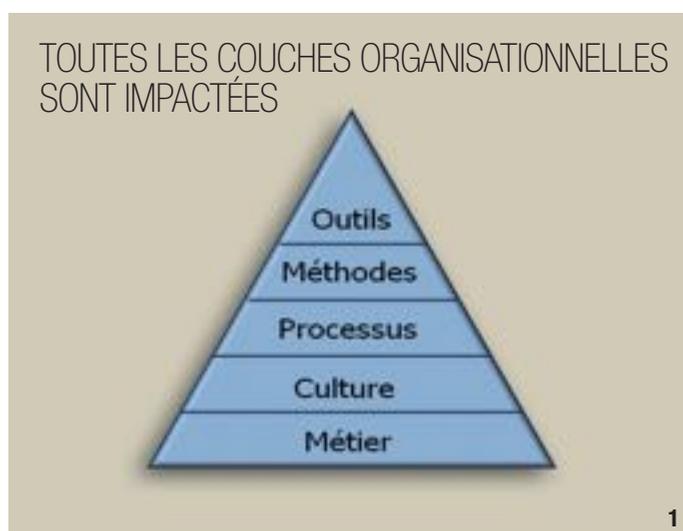
AUTEURS : PASCAL LEMOINE, DIRECTEUR TECHNIQUE ET DE LA RECHERCHE, FNTP - PHILIPPE GOTTELAND, ADJOINT DTR, CHARGÉ DE MISSION RECHERCHE, FNTP

DEPUIS QUELQUE TEMPS, LE MOT BIM APPARAÎT DANS BEAUCOUP D'ÉCRITS, D'ARTICLES ET DE PUBLICATIONS. IL EST L'OBJET DE CONGRÈS, D'ÉCHANGES VARIÉS. BEAUCOUP D'ACTEURS, D'EXPERTS DE LA CHAÎNE DE LA CONSTRUCTION SE L'APPROPRIENT, LUI DONNENT MOULT DÉFINITIONS, L'ASSOCIENT À CERTAINES THÉMATIQUES OU À CERTAINS MÉTIERS, EN DÉFINISSENT D'AUTRES. COMME LA MODE, LE BIM DEVIENT TENDANCE ET S'IMPOSE PROGRESSIVEMENT. LE BIM EST INCONTOURNABLE OU LE DEVIENDRA. APRÈS REPOSITIONNEMENT DU CONTEXTE, NOUS DÉVELOPPONS NOTRE COMPRÉHENSION DE CE QUE CETTE NOUVELLE FAÇON DE TRAVAILLER COLLABORATIVEMENT, DE PENSER ET DE S'ORGANISER POURRA IMPACTER LES ENTREPRISES DE LA CONSTRUCTION.

Le mot BIM est un sigle qui est la contraction de Building Information Modeling (US) ou Modelling (UK et pays anglo-saxons hors US). Derrière ce sigle, se cache une nouvelle organisation de travail collaborative qui concerne et impacte toutes les parties prenantes de l'acte de construire.

UNE ÉVOLUTION PLUTÔT QU'UNE RÉVOLUTION

Le mot BIM semble nouveau pour certains. Il est apparu, il y a une dizaine d'années, dans nos métiers de la construction. Dans le fond, la méthode de travail qui lui est associée n'a rien de tel. Cette organisation nouvelle du travail n'est qu'une adaptation, une évolution de méthodologies de travail plus anciennes issues d'autres activités, en particulier manufacturières, aéronautiques, automobiles, favorisées par l'évolution des moyens techniques. Dans les années 80, la technologie des ordinateurs a beaucoup progressé. La CAO (conception assistée par ordinateur) s'est développée et nous avons vu arriver une modification de l'activité de conception. Progressivement, des



éléments 3D volumiques et surfaciques remplacent le dessin 2D, les capacités de calcul augmentent régulièrement et permettent des conceptions de plus en plus pertinentes.

Dans un même temps, des découpages différents entre les acteurs sont apparus. Les producteurs de biens qui maîtrisaient toute la chaîne de production ont spécialisé leurs sous-traitants ; la

notion de systèmes, de sous-systèmes apparaît et se décentralise. Les sous-traitants compétents prennent la responsabilité de créer et de réaliser des ensembles technologiques complets. Ils intègrent la recherche et le développement. L'ingénierie simultanée (concurrent engineering) débute entre les partenaires et les services.

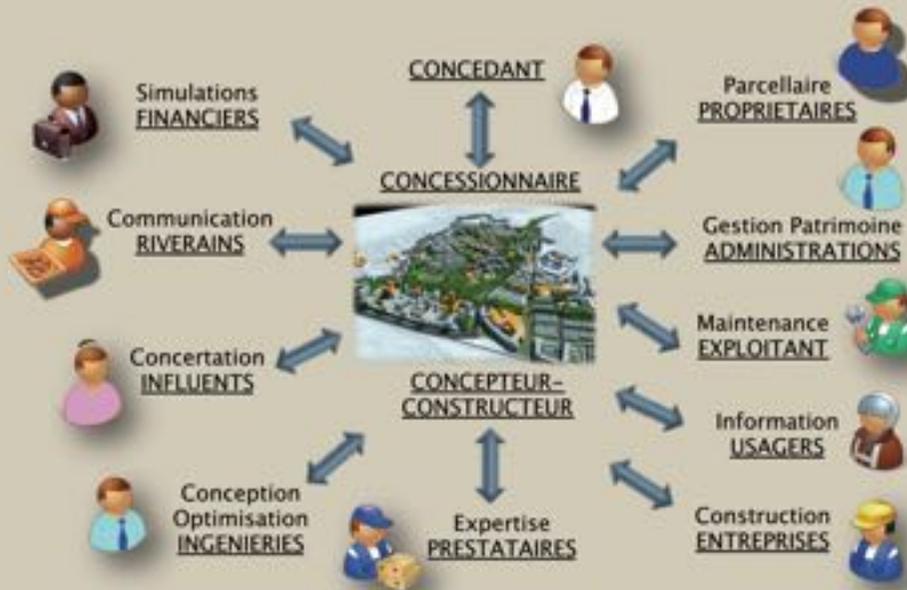
En parallèle, les industriels développent la notion de Product Lifecycle Management (PLM), qui permet de gérer les produits et leurs impacts depuis la création jusqu'à la fin de vie.

Des méthodes de pensée nouvelle arrivent dans les domaines de la production. Taïchi Ohno, père du système de production Toyota, développe de nouvelles façons de produire en juste à temps, avec des méthodes Kanban. Il chasse le gaspillage au travers des processus avec la participation collaborative des opérateurs et instaure de nouvelles règles de management comme le management par la qualité totale. Il développe progressivement une autre façon de travailler qui bouscule les traditionnelles méthodes de production basées sur le taylorisme et le fordisme. Ces méthodes de lean

1- Toutes les couches organisationnelles sont impactées.

1- All layers of the organization are impacted.

TOUS LES ACTEURS SONT CONCERNÉS



© FNTP
2

management (ensemble de techniques visant à l'élimination de toute activité sans valeur ajoutée) apparaissent et permettent d'optimiser la valeur ajoutée des processus.

Depuis, le monde informatique n'a cessé de progresser et de se déployer dans nos activités professionnelles et personnelles. La puissance des machines, le développement des réseaux de communications, la capacité de traitement des données explosent, l'internet devient un réseau incontournable. L'ère du numérique est là, l'économie change progressivement. La « troisième révolution industrielle » comme l'appellent certains auteurs, est en marche. Les données deviennent des matières stratégiques. Les processus qui les captent, les modifient, les communiquent, sont les vecteurs de nouveaux usages de nouvelles pratiques basées sur l'informatique, l'internet et l'intelligence partagée. L'économie devient « iconomie », monde nouveau, international avec une concurrence nouvelle qui s'appuie sur le socle du numérique.

LA DIMENSION DU BIM

Dans le monde de la construction, les infrastructures, les ouvrages répondent à des usages de la société. Il ne faut pas restreindre le BIM à la conception mais voir le BIM comme un ensemble de processus organisés et collaboratifs entre les partenaires de l'acte de construire qui génèrent des données, qui les transforment, qui favorisent leurs partages

2- Tous les acteurs sont concernés.

2- All the players are concerned.

« **IL EST FAUX DE PENSER QUE LE BIM NE CONCERNE QUE LE DOMAINE DU BÂTIMENT.**

IL EST FAUX DE PENSER QUE LE BIM SE RÉSUME À UN « OUTIL » SUPER LOGICIEL.

sur un cycle de vie d'un bien physique nécessaire à la vie de la société.

Dans le sigle BIM, le M peut correspondre à un des trois concepts différents : un modèle numérique ou base de données (Model), un processus ou une méthode de structuration des données (Modelling) et une gestion des flux d'informations ainsi créés (Management), et plus largement aux trois concepts réunis (Modelling au sens large).

Toutes les phases sont concernées, définition du besoin, puis la conception, la construction, l'exploitation, l'usage et le démantèlement. Historiquement, les produits de la construction ont des cycles longs. Les acteurs du cycle de construire sont nombreux, de métiers et de cultures différentes, de dimension internationale ce qui confère au BIM toute sa complexité.

Toutes les couches organisationnelles sont concernées (figure 1).

Nous pouvons facilement imaginer que le concept du BIM va contribuer fortement à l'évolution de notre économie de la construction. Il aura un impact direct sur l'ensemble de nos métiers et sur toutes leurs couches organisationnelles au travers des différents processus. L'impact sera réparti sur les processus qui conditionnent l'environnement de la construction, la numérisation des activités administratives, la formation initiale ou permanente, le partage de l'information pour l'exploitation et la maintenabilité, l'usage et l'interopérabilité en général.

En conséquence, *il est faux de penser que le BIM ne concerne que le domaine du bâtiment*, même si celui-ci est un objet important dans les biens physiques, il ne peut suffire à lui-même aux besoins de notre société.

De même, *il est également faux de penser que le BIM se résume à un « outil » super logiciel* capable de numériser et d'optimiser les processus actuels ou bien à une base complète de données produits.

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE COMME SUPPORT COLLABORATIF

Nous venons de voir que le BIM sur le plan conceptuel faisait appel à des données numériques au travers de différents processus.

De façon concrète, l'acte de construire va partir d'un besoin formalisé par un maître d'ouvrage pour aboutir à terme à un ouvrage. Cet ouvrage va être modélisé : traduit en différentes parties numérisées appelées objets. Cette terminologie « objet » est aussi reprise dans la terminologie numérique, quand il s'agit des objets connectés.

Cette structure d'objets donc de données modélisées est appelée *maquette numérique*.

Prenons un objet de type infrastructure : une poutre, un appui constituant d'un pont..., à cet objet vont être attachés dans sa définition numérique des attributs ou propriétés qui détermineront par exemple ses caractéristiques dimensionnelles et techniques. À ce stade, des catalogues d'objets définis par les fournisseurs facilitent la création. Lors de la mise en œuvre, le concepteur va mettre en relation les objets en leur attribuant des liens, ce qui leur donnera un caractère de dépendance. Il va aussi lors de cette phase de modélisation définir les formats d'échanges en fonction des logiciels utilisés, les filtres nécessaires qui permettront de communiquer et d'échanger entre les métiers, entre les différents processus. L'image que nous voyons sur un écran est une représentation 3D de l'ouvrage. En réalité, c'est la composition d'une multitude d'objets contenant de l'information et des données.

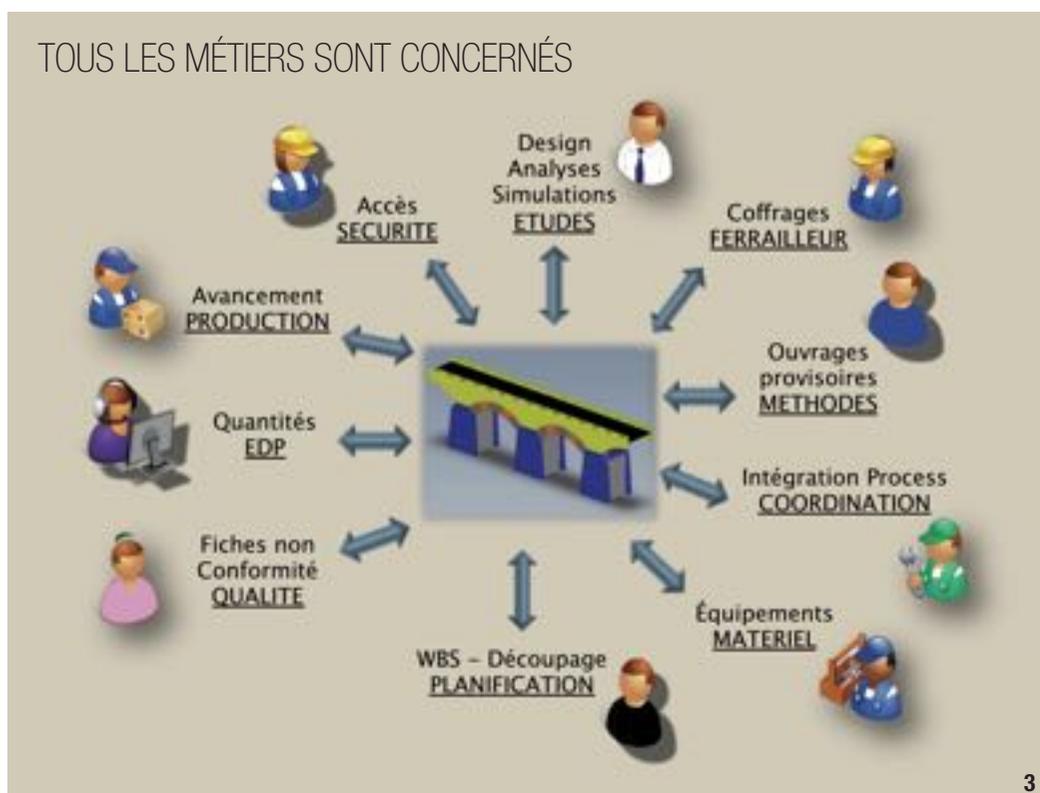
Tous ces objets sont capables d'interagir. Ils possèdent l'intelligence artificielle (intelligence pré-programmée avec des positionnements dans l'espace, dans le temps, des conditions d'enclenchement...) qui permet par exemple d'éviter les conflits, la gestion des collisions, les erreurs qui perturberont la conception, la réalisation ou l'exploitation future.

Pour les infrastructures, une autre dimension est nécessaire, la notion de grand linéaire. Pour concilier l'ensemble des objets dans cet environnement plus large, un système d'information géographique (SIG) viendra se superposer, s'enclencher ou s'intégrer à la maquette numérique. Cela permettra la prise en compte de l'ouvrage dans son environnement géographique actuel et futur comme permettre l'intégration des impacts environnementaux, des impacts géotechniques, des simulations sur les usages. Les moyens modernes d'acquisition de données numériques, d'images, de relief, de volumes par des technologies de type Lidar ou bien photométriques embarquées sur des drones par exemple, viendront compléter les éléments numérisés de la maquette.

L'OPTIMISATION, L'ANTICIPATION ET LA MAÎTRISE DES PROCESSUS

Nous avons maintenant une représentation de l'ouvrage dans son environnement. Cette maquette numérique, dotée d'une intelligence par toutes les données qui lui sont rattachées, est capable de communiquer avec les différents partenaires, pour différentes utilisations et cela de façon dynamique (figure 2).

Dans cette phase d'élaboration, les échanges collaboratifs entre les partenaires vont permettre d'enrichir le modèle, de corriger, d'apporter des précisions, de développer certains points particuliers ou certaines parties de processus. Le modèle s'enrichit, s'optimise. Des simulations vont définir les principales phases de construction et les coûts associés. D'autres simulations vont pouvoir transcrire l'ouvrage dans son cycle de vie, définir les hypothèses et données pour la maintenance et l'exploitation, préfigurer les usages. La considération d'objets non réels, anticipés, prospectifs en associant la réalité virtuelle peut favoriser l'étude de variantes ou la mise en place d'innovation et de les tester « virtuellement ». Le concepteur va pouvoir communiquer avec son maître d'ouvrage, permettre une concertation en visualisant l'ouvrage, son insertion dans l'existant, en simulant l'usage. Une immersion 3D de la future réalisation est possible. Certains impacts, par exemples : trafic, bruit, déperdition énergétique, peuvent être appréhendés afin d'optimiser les solutions. Des simulations utilisant des modèles sont la base de ces optimisations. À ce stade et dans le cadre d'appel d'offres, les éléments de remise des offres pourront être communiqués



de façon dématérialisée dans les règles des consultations publiques ou privées. Mais la maquette numérique ne s'arrête pas à la phase de conception. Elle va servir ensuite de support à l'ensemble des processus en aval, la préparation des phases et de l'exécution du chantier sur l'ensemble des processus qui gèrent les flux d'approvisionnement, les tâches d'exécution, les supports techniques, la gestion des ressources humaines et le suivi de chantier, la gestion des procédés et des équipements, les outillages, la réception et la qualité de la réalisation, les processus connexes aux chantiers comme la sécurité, la communication, la formation, la capitalisation des données pour la phase d'exploitation et d'usage. Tous ces processus vont se nourrir des informations de la maquette, les compléter, les capitaliser et tendre vers une réalisation de l'ouvrage « bien du premier coup ».

LES APPORTS DU BIM

- C'est un concept fédérateur, une maquette numérique partagée.
- C'est une meilleure compréhension anticipée du projet, dans sa totalité ; il permet les interfaces entre les différentes disciplines ou métiers.
- C'est un outil de communication, sur l'intégration dans l'environnement, sur les points sensibles, sur les nuisances identifiées.

3- Tous les métiers de l'entreprise sont concernés.

3- All jobs in the firm are concerned.

- C'est la base des études de prix et des modes opératoires, des outils et des phasages.
- C'est un apport à la sécurité, pour les zones à risque, les process sensibles.
- C'est un outil pour mieux planifier, mieux organiser les tâches et les approvisionnements.
- C'est un outil qualité, par la maîtrise des processus, la gestion des risques, l'enregistrement des données.
- C'est pour les exploitants, clients et usagers, un moyen de capitaliser les données pour assurer la gestion du patrimoine, le développement durable de l'ouvrage.

« **LE BIM N'APPARTIENT À PERSONNE.**

LE BIM C'EST AVANT TOUT UNE MÉTHODE DE TRAVAIL ET UN ÉTAT D'ESPRIT.

TOUS LES ACTEURS ET TOUS LES MÉTIERS SONT CONCERNÉS (figures 2 et 3). »

LE BIM, SES POTENTIALITÉS ET COMPLEXITÉS

Tous les aspects du BIM ne peuvent pas être développés ici. Les articles regroupés dans ce numéro de Travaux illustrent largement des potentialités déjà opérationnelles. Nous pouvons très bien imaginer que la matrice des acteurs est complexe, que les données et les processus associés sont multiples et variés, que les interactions ont un impact : soit direct sur l'ouvrage, soit indirect sur les processus supports. Il faut aussi avoir en tête que le BIM n'est pas franco-français, c'est un standard qui s'imposera assez rapi-



4- Le projet de recherche collaboratif PN IREX MIN°D.

4- The PN IREX MIN°D collaborative research project.

COMMENT SE PRÉPARER AU BIM ?

Le BIM est vaste dans ces processus. Il évolue et va évoluer progressivement à une vitesse qui n'est pas absolument maîtrisée.

En fonction des activités, de la taille et de l'organisation d'une entreprise, les approches peuvent être différentes. Il faut continuer à se documenter, à comprendre en quoi le BIM va impacter l'organisation de l'entreprise, ses processus internes dans la réalisation, l'organisation et la gestion des chantiers. Il faut anticiper l'implication du BIM dans son activité et son chiffre d'affaires. Il est nécessaire de définir une stratégie, qui procédera plutôt par approche successive.

Il est important de ne pas négliger les aspects humains : adaptation, compréhension, formation... de bien trouver les relais en interne et éventuellement se faire accompagner. Ne pas s'en remettre qu'aux aspects outils numériques de type logiciels. Par contre, il faut anticiper, se préparer à combattre les peurs du changement, les phénomènes de protectionnisme. Il faudra user de pédagogie pour accompagner les évolutions, informer et former sur ces concepts évolutifs, sachant que les nouveaux outils technologiques et le numérique en général ne vont pas revenir en arrière mais s'accélérer.

La transition de l'informatisation est en marche. Nous sommes en train de la vivre. Nos métiers doivent se l'approprier. □

dement au niveau international avec toutes les problématiques de cultures et de pratiques différentes. À ce jour, le BIM n'est pas régulé et cette situation d'innovation laisse le champ libre à des luttes d'influence. L'adéquation aux pratiques habituelles n'est pas systématique.

Le fait de partager et d'échanger des informations à différents stades entre des acteurs aux intérêts divergents oblige à repenser les interfaces, les conditions de propriété, les statuts de validation.

Les entreprises doivent prendre part à ces évolutions. C'est dans ce sens que la FNTF a participé à l'étude de mon-

NOS MÉTIERS DOIVENT S'APPROPRIER LA TRANSITION DE L'INFORMATISATION.

tage et participe au projet MIN°D - modélisation des informations interopérables pour des infrastructures durables - géré par l'IREX (Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil). Ce projet aborde les problèmes spécifiques aux infrastructures, comme définir les formats d'échange de données, définir les critères d'interopérabilité des logiciels, compléter les manques d'outils logiciels pour des approches particulières de nos métiers. Ce travail collaboratif aborde aussi les aspects nouveaux, juridiques, les domaines de la formation et de la normalisation. (<http://www.minnd.fr/>) (figure 4).

ABSTRACT

BIM, AN INDISPENSABLE DEVELOPMENT

PASCAL LEMOINE, FNTF - PHILIPPE GOTTELAND, FNTF

Building Information Modelling (BIM) is now part of the construction world. BIM is indispensable, or will become so. After an overview of the context, this article provides information to understand how this new way of working collaboratively, imagining and organising construction, could impact construction firms. Well informed, these firms are adapting, or will have to make the necessary efforts to adapt. □

EL BIM, UNA EVOLUCIÓN INEVITABLE

PASCAL LEMOINE, FNTF - PHILIPPE GOTTELAND, FNTF

El Building Information Modelling (BIM) ya forma parte del mundo de la construcción. Si todavía no es imprescindible, lo acabará siendo. Tras reposicionar el contexto, este artículo aporta algunos elementos para comprender los posibles efectos de esta nueva forma de trabajar en colaboración y de pensar y organizar la construcción en las empresas del sector. Con conocimiento de causa, éstas se adaptan, o deberán adaptarse y realizar los esfuerzos necesarios. □

LE PROJET NATIONAL DE RECHERCHE MINⁿD

AUTEURS : PIERRE BENNING, DIRECTEUR ADJOINT INFORMATIQUE TECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - CHRISTOPHE CASTAING, DIRECTEUR BIM-BY-EGIS, EGIS INTERNATIONAL

LE PROJET NATIONAL MINⁿD EST UN PROJET DE RECHERCHE FRANÇAIS DÉDIÉ AU DÉPLOIEMENT DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE DANS LE SECTEUR DES INFRASTRUCTURES. MINⁿD RASSEMBLE UNE COMMUNAUTÉ REPRÉSENTATIVE DES ACTEURS DE CE SECTEUR ET AFFICHE UN PROGRAMME DE RECHERCHE AMBITIEUX, BASÉ SUR DES EXPÉRIMENTATIONS, DES MISES EN PERSPECTIVE TECHNOLOGIQUES ET PROCÉDURALES, AINSI QUE DES RÉFLEXIONS SUR LES ASPECTS CONTRACTUELS ET JURIDIQUES ENGENDRÉS PAR CE NOUVEL ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF.

INTRODUCTION

Le projet national MINⁿD (Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables) est un projet labellisé par le MEDDE (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie), qui a commencé début 2014 et durera 4 années (figure 1).

Ce projet regroupe une quarantaine de partenaires représentatifs du secteur de la construction en France.

Le programme de recherche est ambitieux et le périmètre d'étude vaste.

Les résultats sont particulièrement attendus par l'ensemble du secteur de la construction, en France mais aussi au-delà de ses frontières, puisque cette démarche s'inscrit dans une dynamique internationale (figure 2).

Après définition des objectifs du programme de recherche, est décrite la méthodologie de travail des partenaires impliqués. Puis sont abordés les verrous et les leviers pour faire face aux freins identifiés, et enfin l'avancement du projet.

LES OBJECTIFS

L'ambition de MINⁿD est de répondre aux objectifs suivants :

→ Structurer les informations à échanger : mieux définir les données géométriques et leurs attributs, ainsi que les relations qui les connectent entre eux, afin de mieux les partager, les assembler, les valider, les modifier.



→ Définir les besoins d'outils logiciels à développer : les modèles et simulateurs actuels sont peu communiquant entre eux. Il est nécessaire de s'appuyer sur des formats d'échange neutres afin d'échanger des données entre logiciels, sur des spécifications des utilisateurs finaux.

→ Faire des préconisations de plateformes collaboratives : les processus actuels font partie de la culture intrinsèque de chaque entreprise. Il faut revisiter les processus collaboratifs établissant la confiance entre les partenaires. Ce n'est pas la mission des éditeurs de logiciels, qui doivent, eux, seulement apporter une solution technologique aux attentes et ne pas imposer des

1- Logo MINⁿD.

1- MINⁿD logo.

règles d'échange basées sur des formats propriétaires.

→ Faire des propositions de modification de la réglementation : un objectif primordial, car il contraint fortement la technologie. Un cadre contractuel de collaboration avec une maquette numérique partagée doit être imaginé, afin de clarifier les responsabilités et les interfaces entre acteurs pour établir la confiance indispensable au travail collaboratif.

LES THÈMES DU PROGRAMME DE RECHERCHE

Pour répondre à ces objectifs, quatre thèmes de recherche ont été identifiés, étayés par une veille technologique permanente, un observatoire pérenne des évolutions de la profession et des connaissances sur la maquette numérique.

Cet observatoire permettra de rassembler professionnels et académiques, en faisant monter en connaissance et en compétences l'ensemble des acteurs (figure 3).

MISE EN PERSPECTIVE DES PRATIQUES : OUTILS, TECHNOLOGIES ET PROCESSUS

Ce thème abordera les problématiques associées au travail collaboratif :

→ Les outils logiciels et les méthodes : modèles, simulateurs, outils de contrôle ou interopérabilité entre formats de données.

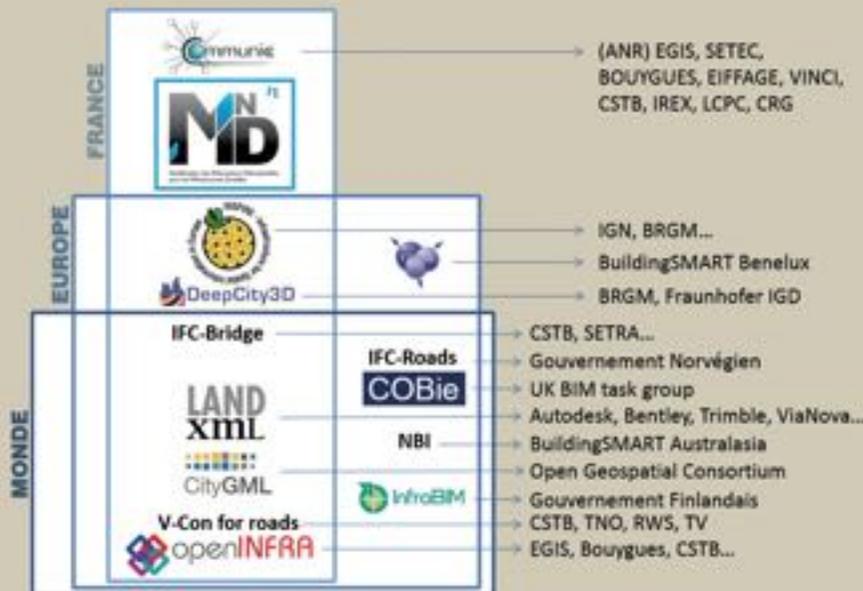
→ Les technologies : performance des stations de travail et rendus graphiques, interfaces de saisie, plateformes de partage ou aspects de confidentialité liés au *Cloud*.

→ Les processus : gestion des données, organisation du travail collaboratif et ses aspects contractuels.

CAS D'USAGE - EXPÉRIMENTATIONS

Ce thème est le centre des démonstrations :

LA POSITION DE MINND DANS LE PANEL DES DÉMARCHES INTERNATIONALES DÉDIÉES AUX INFRASTRUCTURES



- Traçabilité des problématiques d'intégration/synthèse (interférences et collisions) et leur résolution ;
- Propriété intellectuelle et responsabilité de conception lors de la co-conception ou conception collaborative ;
- Contrats-type à proposer aux différentes formes contractuelles rencontrées.

Les livrables de ces thèmes de travail sont détaillés dans le programme complet de recherche, disponibles sur le site Internet www.minnd.fr.

LA LISTE DES PARTENAIRES

La liste actuelle des participants est composée de 44 partenaires motivés : constructeurs, ingénieristes, éditeurs de logiciels français et internationaux, universitaires, laboratoires, fédérations, donneurs d'ordre et quelques cabinets conseils (liste complète consultable sur www.minnd.fr).

Elle démontre la pertinence de MINND, regroupant autour d'une même table toutes les sensibilités du secteur des infrastructures françaises, au-delà des barrières concurrentielles qui régissent d'ordinaire les actions de recherche conjointes (figure 4).

LA MÉTHODOLOGIE

Pour la première tranche, de manière à lancer les réflexions sur des thèmes maîtrisés et afin de monter progressivement les acteurs en compétence (le niveau de « maturité BIM » étant très disparate au sein des partenaires), 6 cas d'usage ont été identifiés, qui alimenteront par la suite les thèmes de MINND.

Ces cas d'usage sont des problématiques usuelles ou des sujets parfaitement maîtrisés par les processus traditionnels actuels.

Le but est de comprendre comment chacun de ces 6 cas d'usage est traité aujourd'hui et comment le revisiter pour qu'il s'inscrive désormais dans une démarche BIM.

L'AVANCEMENT DU PROJET

Plus d'un an après le démarrage effectif du projet, MINND atteint sa vitesse de croisière. Trois activités principales rythment le projet : les cas d'usages ; le thème « observatoire » avec notamment le Campus MINND et la dissémination ; le thème relatif au cadre juridique et contractuel inscrit MINND dans l'actualité du Plan Bâtiment Numérique.

© BOUYGUES/EGIS 2

- Par typologie d'acteurs ou de disciplines, c'est-à-dire une approche verticale ;
- Par typologie d'ouvrage ou de fonction du projet, c'est-à-dire une approche transversale ;
- Sur les procédures de dialogue entre maîtrises d'œuvre privées et maîtrises d'œuvre publiques.

STRUCTURATION DES INFORMATIONS

Ce thème abordera les problématiques associées aux informations :

- Données géométriques et leurs attributs, dans les différents niveaux de développement ;

2- La position de MINND dans le panel des démarches internationales dédiées aux infrastructures.

3- Le programme de Recherche MINND.

2- The position of MINND in the range of international approaches dedicated to infrastructure.

3- The MINND research programme.

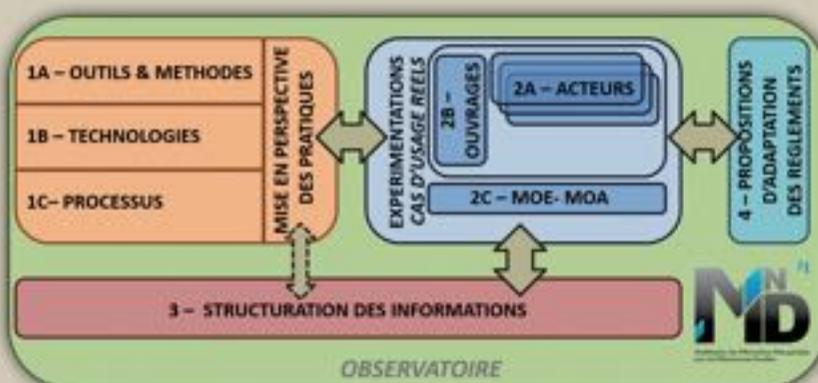
- Ingénierie des systèmes (découpage des données selon un point de vue systémique et non pas spatial) ;
- Dictionnaires, ontologie et sémantique associées aux données ;
- Normes et interopérabilité nécessaires pour mieux partager et échanger.

PROPOSITIONS D'ADAPTATION DES RÈGLEMENTS

Ce thème traitera des préoccupations suivantes :

- Gestion des modifications ;
- Approbation et la validation des informations ;
- Traçabilité des décisions ;

LE PROGRAMME DE RECHERCHE MINND



© MINND 3



4 © DR

LES FREINS AU DÉMARRAGE

MIN'D est un projet de recherche, qui, en raison de son objectif ambitieux, a été long à initier et à démarrer.

Plusieurs freins ont été identifiés : la différence de maturité entre partenaires, le manque de mobilisation des maîtres d'ouvrage, l'absence de financement pour les tranches suivantes. Mais aussi et surtout le scope très large de la démarche : tous les sujets ne seront sans doute pas traités à fond. Pour certains aspects, donc, l'objectif est de mettre au point des méthodologies de travail afin de les réappliquer sur des sujets connexes et de les prolonger dans des projets ANR ou FUJ ad-hoc.

LES ATOUTS

Mais il existe aussi de nombreux leviers pour motiver les groupes de travail :

- La prise de conscience sur la nécessité d'un tel projet de recherche, avec une représentativité exemplaire ;
- La participation des éditeurs nationaux et internationaux, avec leur envie affichée de travailler avec les utilisateurs finaux spécifiant leurs besoins en termes de travail collaboratif ;
- Le support du MEDDE, ainsi que la labellisation Advancity, qui donne un cadre officiel de travail à cette démarche innovante et mobilisatrice ;
- Le support de la Fntp et des grandes fédérations, telles Syntec et Cinov ;
- La bonne volonté des participants compétiteurs et concurrents, ainsi que la transparence dans les échanges et réunions de travail ;
- La connexion avec des projets internationaux similaires, en Hollande, en Norvège, au Royaume-Uni, en Corée du Sud, etc.

L'AVANCEMENT DES LIVRABLES ET LES RÉSULTATS ACTUELS

L'OBSERVATOIRE AVEC TROIS INITIATIVES MAJEURES

- La mise en place d'un service documentaire : l'activité se traduit par la collecte et la production d'une documentation abondante, qui a conduit à la création d'un service documentaire pour la gérer et la mettre à disposition de tous les partenaires.
- Le Campus MIN'D, avec des séminaires bimestriels organisés à la Fntp, propose une conférence sur un sujet de recherche universitaire relatif à la maquette numérique.
- L'initiative Edubim, née du partenariat avec les écoles et les uni-

4- La liste actuelle des partenaires du projet national MIN'D.

5- La place du BIM et du format IFC dans le cycle de vie des données (présentée à la journée PDT Europe).

4- The current list of partners of the MIN'D national project.

5- The role of BIM and the IFC format in the data life cycle (presented at the PDT Europe day).

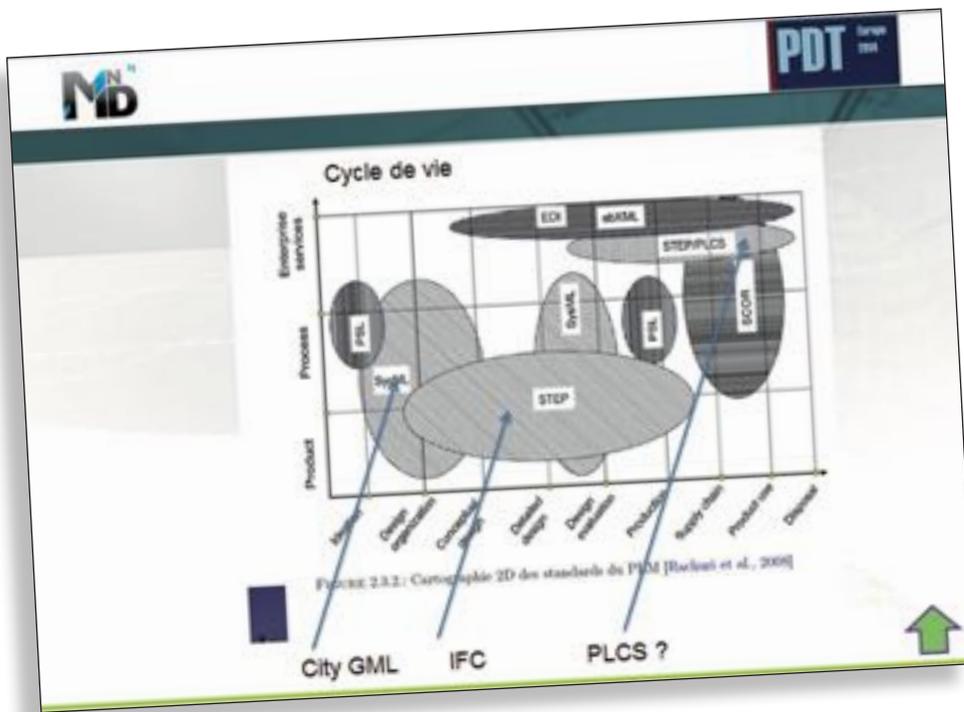
versités, établissant un cadre de rencontres et de propositions pour l'enseignement du BIM en France. Elle a réuni près de 200 praticiens à l'Esitc de Caen, les 16 et 17 juin 2015.

LA DISSÉMINATION

La mobilisation du secteur du BTP français dans le projet MIN'D provoque une très forte attractivité en France et à l'étranger.

En France, dès les phases de faisabilité et de montage, MIN'D a été invité au BIM's day de Medi@construct⁽¹⁾ et aux journées du BTP d'Esri.

MIN'D a été également présent aux journées de la maquette numérique de 2014 ou à BIM World 2015. Des secteurs très spécialisés comme PDT⁽²⁾



5 © MIN'D

CONSULTEZ
TRAVAUX
SUR INTERNET

revue-travaux.com

Vous pourrez :

- Vous abonner en ligne.
- Télécharger gratuitement des articles.
- Accéder à la présentation de la revue.
- Consulter 17 ans d'archives de la revue.
- Compléter votre collection.

LE MASTÈRE SPÉCIALISÉ® BIM, CONCEPTION INTÉGRÉE ET CYCLE DE VIE DU BÂTIMENT ET DES INFRASTRUCTURES A ÉTÉ LANCÉ EN 2014, À L'INITIATIVE DE L'ÉCOLE DES PONTS PARISTECH ET DE L'ESTP PARIS

Répondre au besoin d'accompagnement des entreprises en matière d'évolution des compétences BIM de leurs salariés, former les jeunes diplômés, professionnels de demain aux enjeux du BIM (techniques et management de projet via une maquette numérique informée), aider les différents professionnels à « travailler ensemble » grâce à un système d'information interopérable, sont autant d'objectifs de la formation.

Le MS s'appuie sur un réseau académique pointu, associant Grandes Écoles d'ingénieurs et Écoles d'architecture (Arts et Métiers ParisTech, l'École Nationale des Sciences Géographiques, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, les écoles d'Architecture de Marseille, Toulouse et Paris Val-de-Seine et Ecotec).

La formation, à temps partiel (une semaine de cours par mois pendant un an), s'appuie en partie sur une plateforme de formation à distance dédiée proposant contenus pédagogiques, exercices, captations vidéo d'interventions, et outils de communauté. Le programme comprend 400 heures de cours et donne lieu à la rédaction d'une thèse professionnelle soutenue devant un jury. Le sujet de la thèse renvoie à des thématiques abordées durant le parcours et permet l'application de concepts à la résolution d'un problème professionnel.

Chiffres clés :

- 36 participants en 2014-15 (48 % d'ingénieurs, 35 % d'architectes, 17 % d'autres professions) ;
- Plus de 70 intervenants (académiques, professionnels, chercheurs) ;
- 400 heures de cours réparties en 12 modules, dont une partie à distance (plateforme bim.enpc.fr) ;
- 5 jours de cours par mois (formation à temps partiel pendant un an) : 3 jours à l'École des Ponts ParisTech - 2 jours d'atelier (projets) à l'Estp Paris ;
- 8 partenaires entreprises.

Informations complémentaires et candidatures :

<http://mastere-bim.enpc.fr>

Nos Partenaires :



Avec le soutien de :





INGEROP ET LE BIM, DÉJÀ 5 ANS

AUTEUR : SIMON MOREAU, BIM MANAGER, INGEROP

APRÈS PLUSIEURS EXPÉRIENCES SUR DE GRANDS PROJETS, INGEROP ÉTEND L'USAGE DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE DE CONCEPTION À TOUT TYPE DE PROJET DE BÂTIMENT, SUR TOUS LES MÉTIERS. CETTE ÉVOLUTION DES OUTILS PRÉCÈDE UNE ÉVOLUTION DES MÉTHODES DE TRAVAIL ET C'EST DANS LA MISE EN PLACE DE CETTE NOUVELLE ORGANISATION QUE RÉSIDE LE VRAI ENJEU DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE.

L'utilisation de modèles numériques du bâtiment se généralise et les cas d'usage de ces outils s'étendent à tous les métiers du bâtiment, de la promotion à la maintenance en passant par la construction. En tant que bureau d'ingénierie, Ingerop utilise de façon extensive des modèles numériques de bâtiments dans le cadre de ses études et commence à rassembler une certaine expérience autour des outils BIM.

LES PREMIÈRES EXPÉRIENCES

La première utilisation d'un modèle numérique BIM par Ingerop remonte à 2010, lors de la conception de la structure et de l'enveloppe de la Canopée des Halles (figure 1).

Durant les premières phases du projet, il apparaît que la seule façon de traiter cette complexité est de travailler

avec des modèles numériques 3D. De plus, le calepinage des panneaux de verre en toiture rend nécessaire un modèle paramétrique. C'est pourquoi Ingerop s'associe à Décode pour la réalisation d'un modèle comprenant la charpente métallique et les panneaux de couvertures du projet, en étroite liaison avec les ingénieurs concepteurs. Initialement prévu pour le calepinage des panneaux de verre en toiture, ce modèle s'est transformé pour devenir une pièce du Dossier de Consultation des Entreprises. Grâce à un travail en collaboration avec le Cstb, le modèle est émis au format IFC. Le visualisateur 3D spécialement développé pour l'occasion permet aux entreprises de mieux comprendre les volumes du projet et associe à chaque objet (poutre, panne, panneau de verre), une description, des dimensions, une quantité, la

pièce écrite et le plan correspondants. Cela permet de démythifier la complexité géométrique du projet et de simplifier le dialogue avec les entreprises lors des phases d'appel d'offres et de négociation.

L'expérience acquise autour de modèles 3D de bâtiments de formes complexes permet à Ingerop de travailler sur les études de synthèse d'exécution de la Philharmonie de Paris (figure 2). Modélisée en 3D par les Ateliers Jean Nouvel, la maquette numérique de la future salle de concert ne comprend que les volumes du projet. Ce n'est donc pas à proprement parler une maquette BIM, une partie de l'information étant manquante.

Lors de cette opération, Ingerop utilise ces modèles 3D pour identifier et résoudre les problèmes de synthèses des zones complexes de la Philhar-

monie. La coordination de fichiers 3D est une première étape vers le collaboratif 3D tous corps d'états et cette expérience permet de développer un savoir-faire autour de la synthèse en maquette numérique, de la détection automatisée des conflits et de la maîtrise des différents outils 3D.

LANCER DES PROJETS

La plupart des technologies utilisées sur ces deux projets ne sont pas financièrement applicables directement à des projets plus classiques. Mais ces opérations lancent tout de même une dynamique autour de l'utilisation de modèles numériques en conception. C'est pourquoi Ingerop lance pendant l'été 2012 la phase d'Avant-Projet Définitif de l'Hôpital de Hautepierre à Strasbourg, à l'aide d'une maquette numérique complète TCE. Le logiciel



1

© ARCH. PBERGER & JANZIUTTI

Revit d'Autodesk, à l'époque seule solution viable pour concevoir les lots techniques, a été retenu.

Il s'agit là d'une première expérience de conception entièrement en modèle numérique. Le projet, conçu en zone sismique, a de très fortes contraintes de positionnement des réservations dans les structures et donc de circulation des réseaux. Ces contraintes de synthèse emportent la décision de travailler en maquette numérique (figure 3).

À part les équipes de synthèse qui bénéficient de l'expérience acquise sur la Philharmonie de Paris, l'ensemble des collaborateurs du projet doit être formé à cette nouvelle façon de travailler.

**1- Canopée des Halles.
2- Philharmonie de Paris.**

**1- Canopée des Halles.
2- Paris Philharmonic.**

La formation interne est orientée autour de deux axes. D'une part, la formation que l'on peut qualifier de technique qui consiste à former aux logiciels utilisés (Revit par exemple). Et d'autre part, la sensibilisation à la nouvelle méthodologie et aux possibilités d'exploitation de la maquette numérique qui permet de montrer à chacun les possibilités d'utilisation de ces modèles numériques. Ce travail passe par un dialogue entre les ingénieurs concepteurs et les responsables des modèles numériques afin de comprendre les besoins des uns et les possibilités techniques des autres. L'aspect collaboratif de la maquette numérique devient essentiel car tous

les collaborateurs du projet travaillent sur un même modèle. Cela conduit à repenser la façon de se coordonner et modifie profondément le travail de présynthèse (figure 4).

En revanche, Ingerop reste le seul acteur du projet à utiliser une maquette numérique et modélise en interne les données d'entrée issues du cabinet d'architecte.

À l'issue de cette phase, un deuxième projet, l'Aéroport International de Genève, est lancé. Les contraintes de synthèse, les réseaux apparents et les futures études d'exécution conduisent naturellement à réaliser ce projet, également sous BIM (figure 5). ▷



© ATELIERS JEAN NOUVEL
2



3

© GROUPE 6

Ces premiers projets ont généralement été assez difficiles et ont soulevé beaucoup de questions techniques et organisationnelles. Les outils sont toujours délicats à maîtriser au départ et les contraintes de planning et de budget d'un projet réel conditionnent l'apprentissage de la méthodologie de travail en maquette numérique.

DÉPLOYER

À l'issue de ces projets, les retours d'expérience de chacun sont très précieux pour commencer à construire une méthodologie autour du travail avec ces nouveaux outils. Tout d'abord pour être capable de répondre rapidement aux questions techniques liées à la maquette numérique, mais aussi et surtout pour redéfinir la méthode de travail autour du nouvel outil.

En effet, l'utilisation d'une maquette numérique remet en question la façon de travailler et conduit naturellement à vouloir l'améliorer.

Ingerop est parti d'un modèle où les études sont très linéaires, où chaque intervenant produit ses documents sans qu'une vision globale du projet ne soit visible avant la fin d'une phase. Le nouveau processus fait émerger une vision globale du projet dès les premiers éléments modélisés. En assemblant en temps réel ces éléments et en produisant quotidiennement un rendu, même incomplet, on peut anticiper d'éventuels conflits et gérer en amont des problèmes que l'on n'aura identifiés que trop tard dans un processus classique. On passe d'un processus séquentiel (données d'entrée, études, production) à un processus plus itératif et plus intégré (figure 6).

Cette vision assez théorique du changement se traduit par des modifications concrètes dans l'organisation interne. La présynthèse, auparavant réalisée

en fin de phase, est aujourd'hui anticipée pour devenir pré-coordination et ainsi définir dès le début de la phase les principes de cheminement des réseaux techniques. Les différents lots, autrefois séparés en services, se regroupent physiquement sur un même *open-space* pour faciliter la communication. L'organisation physique des études reflète ainsi la méthode de travail adoptée.

Cette méthodologie est documentée à travers des guides et des mémos techniques. Le travail de formalisation et de documentation est important et demande beaucoup de temps et de ressources ainsi qu'une mentalité différente de l'état d'« esprit pionnier » du début. Ingerop commence ce travail en étant assisté par un partenaire qui compile le

3- Hôpital Universitaire de Strasbourg.

4- Niveau technique de l'Hôpital Universitaire de Strasbourg.

3- Strasbourg University Hospital.

4- Technical level of Strasbourg University Hospital.

savoir-faire technique dans un premier guide construit autour des techniques de gestion des modèles numériques. Le travail se poursuit en interne avec la production d'un second guide regroupant ces techniques de gestion avec le processus d'étude global.

Cette formalisation est nécessaire pour plusieurs raisons, la plus importante étant la normalisation des pratiques autour de la maquette numérique à travers tout le groupe Ingerop. Mais une documentation complète devient également essentielle pour pouvoir présenter notre processus lors des appels d'offres imposant un processus BIM.

Historiquement issu d'un besoin autour de production plus détaillée et de projets morphologiques, puis orienté autour de la résolution de problèmes précis



4

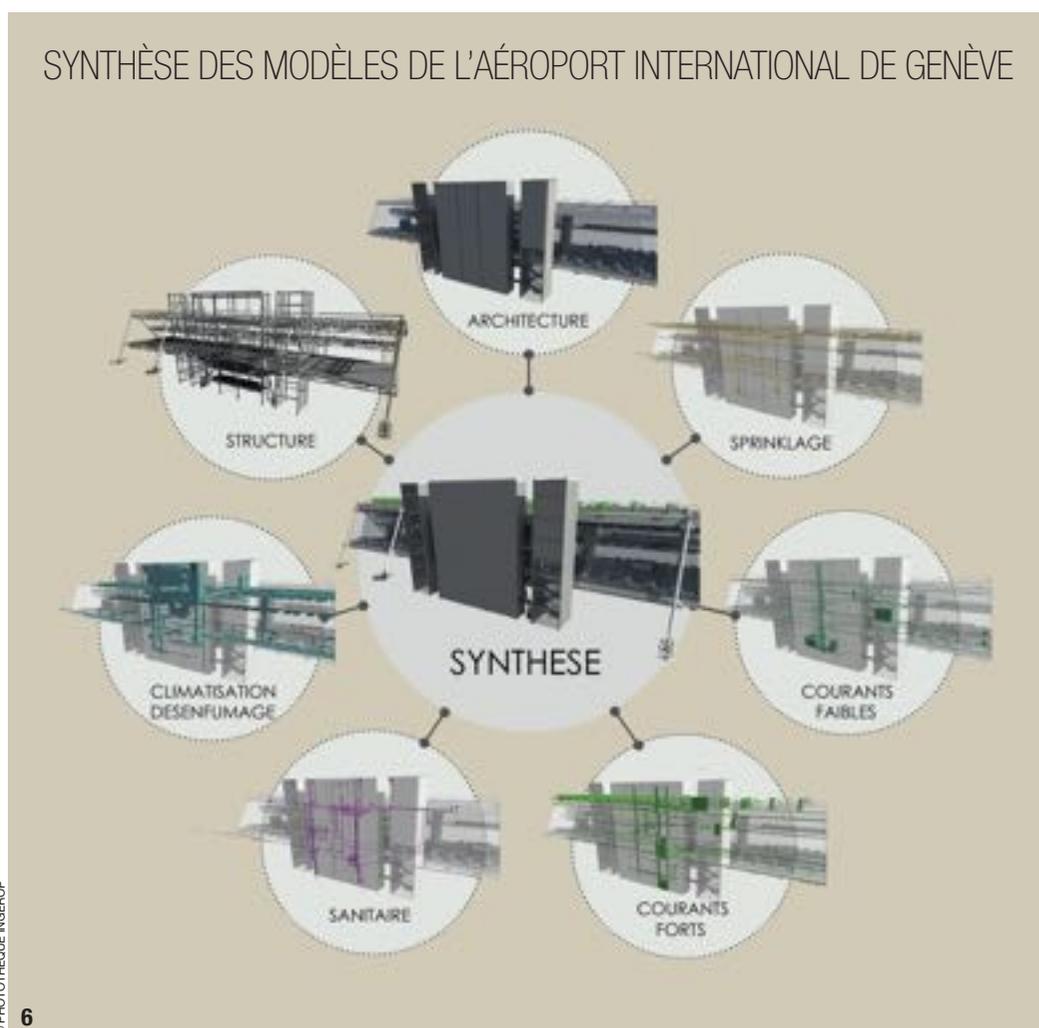
© PHOTO THÉRIQUE INGEROP



5

© R.S.H.P.

SYNTHÈSE DES MODÈLES DE L'AÉROPORT INTERNATIONAL DE GENÈVE



© PHOTOTHÈQUE INGEROP

5- Aéroport International de Genève.

6- Synthèse des modèles de l'Aéroport International de Genève.

5- Geneva International Airport.

6- Overview of Geneva International Airport models.

(comment produire des études coordonnées plus efficacement), l'usage de la maquette numérique s'est répandu sur un nombre croissant de projets de conception et de synthèse d'exécution. La formalisation de l'expérience acquise lors de ces projets est toujours en cours et reste une étape majeure du déploiement de la maquette numérique à travers tout le groupe et tous les métiers. Le développement des possibilités d'utilisation de la maquette numérique est également un sujet important pour l'emploi des modèles numériques dans les calculs thermiques, structurels ou encore pour le dimensionnement des réseaux et installations techniques. □

ABSTRACT

INGEROP AND BIM, FIVE YEARS ALREADY

SIMON MOREAU, BIM MANAGER, INGEROP

Ingerop outlines the history of various computer modelling projects. From Canopée des Halles in Paris to Geneva International Airport, Ingerop's teams have built a work methodology around computer modelling and are preparing to deploy it in all the group's operations. □

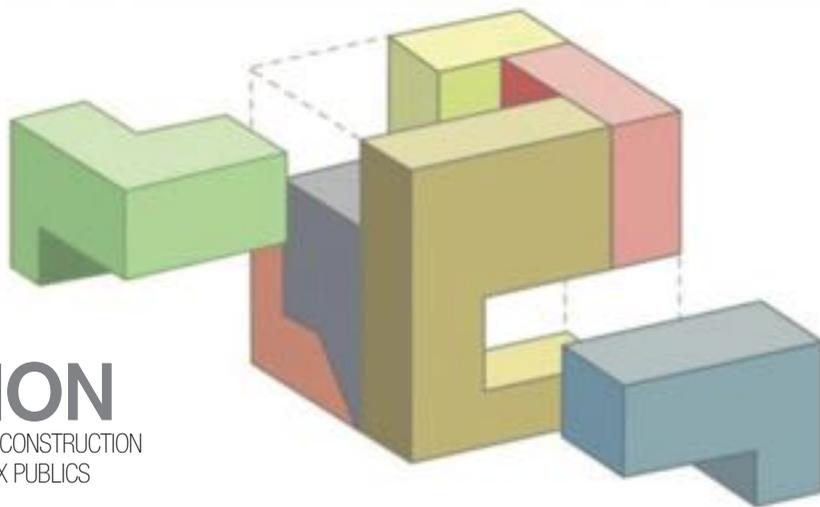
INGEROP, 5 AÑOS CON EL BIM

SIMON MOREAU, BIM MANAGER, INGEROP

Ingerop presenta la trayectoria de diferentes proyectos en maqueta digital. Desde la Canopée de Les Halles de Paris hasta el Aeropuerto Internacional de Ginebra, los equipos de Ingerop han construido una metodología de trabajo en torno a la maqueta digital y preparan su despliegue en todas las actividades del grupo. □

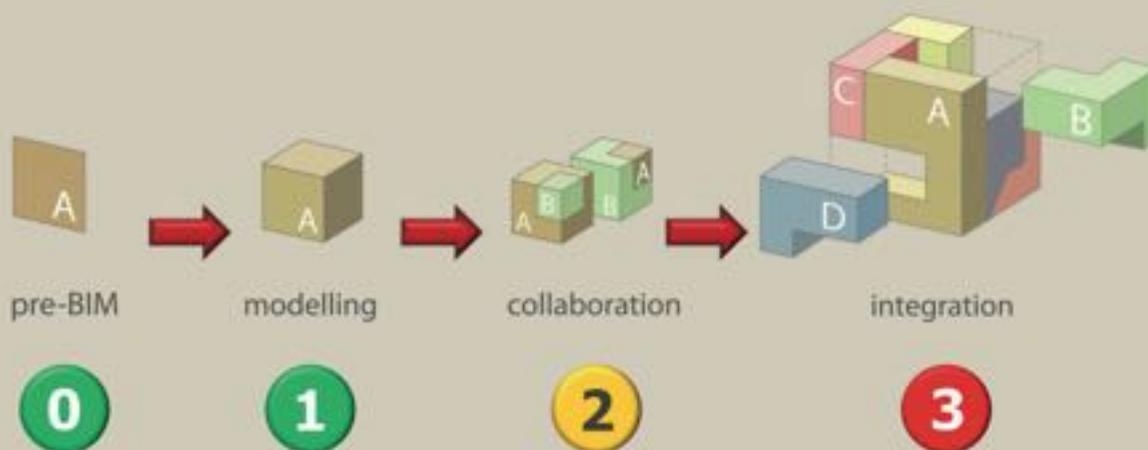
BIM ET NORMALISATION

AUTEURS : MARIE-CLAIRE COIN, DIRECTION TECHNIQUE, EIFFAGE CONSTRUCTION
CLAUDE DUMOULIN, DIRECTION TECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS



CE QUE RECOUVRE VRAIMENT LE BIM RESTE LE SUJET DE NOMBREUSES INTERPRÉTATIONS. SA MISE EN ŒUVRE SE CHERCHE ENCORE. AUJOURD'HUI ELLE EMPRUNTE PLUSIEURS CHEMINS ET IMPACTE PLUSIEURS DIMENSIONS : SOIT LES MÉTIERS ET LES DISCIPLINES SONT TRAITÉS SÉPARÉMENT, SOIT DES MÉTIERS ET DES DISCIPLINES SONT PRIS EN COMPTE SIMULTANÉMENT. L'OBJET DE CETTE CONTRIBUTION EST D'ANALYSER CE QUE LA NORMALISATION POURRAIT APPORTER POUR AMÉLIORER LES FONCTIONNEMENTS ACTUELS OU FUTURS.

FAMILLES D'USAGE DU BIM



1 © BYTP

POSITION DU PROBLÈME

L'acronyme BIM a plusieurs sens. *Building Information Model* correspond au modèle de données décrivant un projet ; *Building Information Modelling* décrit le processus de création, de collecte et d'utilisation de ces données ; enfin *Building Information Management* met l'accent sur l'organisation de projet nécessaire à la mise en œuvre du processus.

Idéalement, le modèle de données, partagé entre les différents acteurs du projet, concerne tout le cycle de vie de l'ouvrage : conception, construction, exploitation, démolition. Les informations partagées sont interoperables (*open BIM*) ; les logiciels utilisés par chacun des acteurs peuvent échanger

de l'information avec le modèle de données directement sans intervention humaine pour sa traduction ou son interprétation.

Le BIM peut être considéré comme une révolution s'inscrivant dans la troisième révolution industrielle ou *révolution informatique*, promettant d'être plus efficace, plus fiable, plus rapide et plus économique. Mais sa mise en œuvre est un vrai défi, nécessitant que soient revisités nos processus de production de l'information.

C'est un changement significatif de notre façon de travailler, impactant tous les acteurs d'un projet.

Opter pour le BIM consiste à passer d'un échange d'informations fondé sur des plans et des documents produits

1- Familles d'usage du BIM.

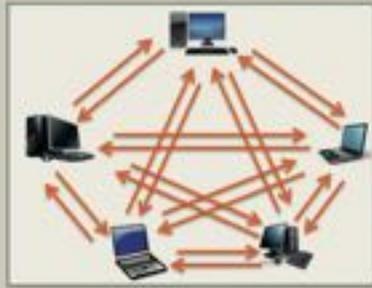
1- BIM application families.

au *format papier* à un échange basé sur un assemblage de composants *virtuels* ayant pour attributs une géométrie, des propriétés non graphiques et des relations avec d'autres composants. Les livrables de chaque acteur sont des modèles partiels agrégés dans le modèle du projet. Les plans et les documents au *format papier* ne sont plus que des vues particulières.

Au travers de nos pratiques opérationnelles actuelles, nous pouvons distinguer plusieurs familles d'usage (figure 1).

- **BIM métier** : l'utilisateur crée un modèle BIM pour son seul usage, en profitant de la puissance et des contrôles de cohérence offerts par l'approche BIM. Il exprime toute sa créativité et sa productivité avec les logiciels utilisés. Ses données d'entrée sont ou ne sont pas issues du BIM projet (voir ci-après). Tout ou partie de ses données de sortie, à savoir les résultats de ses travaux métier sur sa discipline, peuvent être inclus dans le BIM projet ;
- **BIM projet collaboratif en mode échange** : les acteurs échangent

TYPE D'ÉCHANGE ENTRE ACTEURS



0 1



2



3

tout ou partie de leurs modèles BIM afin de bénéficier de la puissance de modèles partagés. Les principaux usages sont :

- la recherche des conflits géométriques, par exemple pour assister la synthèse des lots techniques et clos-couvert des ouvrages ;
- des études de simulation ou de comportement des ouvrages, par exemple un bilan thermique ;

Ce BIM projet nourrit la pertinence des BIM métier. L'ouvrage à réaliser se définit par les itérations entre le BIM projet et les BIM métier.

→ **BIM projet collaboratif en mode intégré** : Chaque acteur produit des modèles partiels qui sont agrégés en un modèle unique et partagé. Ce modèle est la référence unique du projet.

L'efficacité de ces développements est conditionnée par l'existence d'outils capables d'absorber les formats propriétaires des différents logiciels ou un format neutre d'échange.

L'intégration des modèles ne conduit pas à l'idée d'une unique et même maquette numérique.

Le cœur de la *discipline BIM* est la gestion d'un modèle (ou maquette) partagé intégré (figure 2).

LES FREINS À L'ADOPTION DU BIM INTEROPÉRABILITÉ DES LOGICIELS

Un logiciel de modélisation ou de simulation est organisé en fonction du service rendu à l'utilisateur. Sa base de données interne est donc optimisée en conséquence. Du fait de la concurrence rude entre éditeurs, les

logiciels évoluent rapidement entraînant des modifications d'organisation de leur base de données propriétaires. L'échange d'information entre logiciels impose donc autant de passerelles logicielles que de couples de logiciels, même entre produits d'un même éditeur. Un *format neutre* d'échange non contraint par les évolutions des logiciels limiterait le nombre de passerelles et leurs mises à jour.

SAVOIR-FAIRE DE L'ENTREPRISE

Un plan, et plus encore un modèle BIM, sont le résultat d'un processus de *créativité* d'un auteur s'appuyant sur des outils et des connaissances internes. Un plan traditionnel n'est que l'image résultante de ce processus. Il ne transmet pas le savoir-faire de l'entreprise. A contrario un fichier de sauvegarde d'un modèle BIM issu d'un logiciel contient plus qu'une simple image du modèle ; il peut inclure des outils spécifiques de productivité, des données de l'entreprise, des familles d'objets paramétriques facilitant l'usage du logiciel. Un format neutre d'échange offre un effet filtrant limitant les données échangées aux seules données nécessaires au projet et protège ainsi le savoir-faire de l'entreprise.

2- Type d'échange entre acteurs.

2- Type of exchange between actors.

NIVEAU DE DÉTAIL

À un plan papier sont associés un point de vue, un format et une échelle dépendant de la phase du cycle de vie. Très naturellement ces contraintes pilotent les informations à produire et leur niveau de détail. Il permet aussi de traiter une donnée incertaine en début de projet. Dans une maquette BIM, tout est à l'échelle 1. L'unité associée s'impose à tous les acteurs, de même que le système de coordonnées. Tous les objets sont représentés graphiquement, même si parfois, en phase amont, seule une enveloppe est connue. Les points de vue sont multiples. Les informations peuvent être filtrées. Les catalogues produits en ligne donnent accès très facilement à beaucoup d'informations. Il y a un grand risque de sur- ou sous-information. Il devient nécessaire de préciser le type d'informations échangées et leur niveau de précision pour chaque étape du cycle de vie et pour chaque métier : données d'entrée et de sortie (livrables).

TRAÇABILITÉ DE LA QUALITÉ DE L'INFORMATION

Un plan traditionnel correspond à un métier, un auteur, une entreprise responsable, un statut d'utilisation (en cours, validé, etc.). Ces informations sont des attributs du cartouche du plan. Le plan propose une réponse aux exigences du client. Dans un modèle BIM, ces informations et exigences sont à rattacher aux composants (ou données). La traçabilité ou l'historique de la vie de la donnée doit être effective et fiable. Une règle est à établir, permettant à tous les acteurs de connaître l'origine de la création et de l'évolution de la donnée : qui, quand, pourquoi.

UN BESOIN DE RÈGLES POUR FACILITER LE PARTAGE

FORMATAGE DES INFORMATIONS ÉCHANGÉES

L'objectif est de permettre un échange de données direct machine à machine (*machine readable*).

Le modèle est organisé en objets informatiques décrivant un découpage en composants physiques, permettant l'identification des contributions de chaque acteur et des différents usages des informations.

La description s'appuie sur une ontologie permettant de classifier les composants : mur, porte, plancher, poteau, poutre, etc.

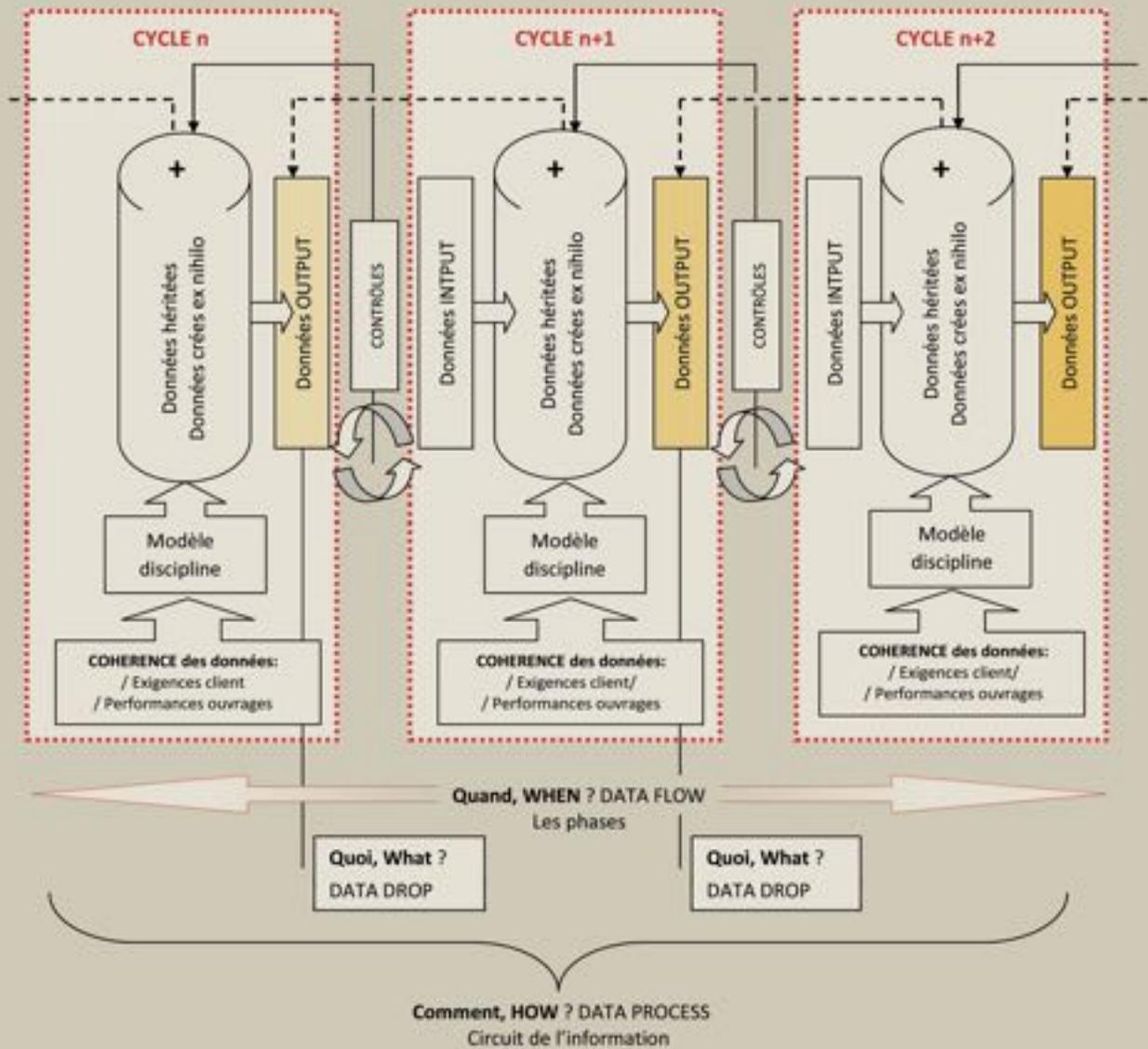
Ces composants sont placés dans des espaces hiérarchisés (pièce, étage, bâtiment) et rattachés à des disciplines. Cela facilite la navigation dans le modèle, d'un point de vue spatial ou systémique.

L'approche par ontologie s'applique aussi à la description géométrique des composants. Le but n'est pas de produire une belle image comme le permet une géométrie à base de facettes, mais de transmettre l'information permettant de construire le composant.

Enfin cette ontologie définit des relations entre objets. Telle fenêtre est dans telle ouverture qui est incluse dans tel mur. Telle poutre s'appuie sur tel poteau. Telle propriété est affectée à tel objet.

Le modèle peut décrire l'information à toutes les étapes du cycle de vie. En conséquence, la plupart des attributs sont optionnels. La granularité du modèle est laissée à la charge de l'utilisateur.

QUALIFICATIONS DES INFORMATIONS ÉCHANGÉES



3 © BYTP

Il existe aujourd'hui la norme ISO 16769:2013 Industry Foundation Classes (IFC) proposant une réponse à ce besoin.

QUELLES INFORMATIONS ÉCHANGER ?

Nous sommes là au cœur de la problématique du BIM : l'évolution de la richesse de l'information. L'utilisateur final doit exprimer ses attentes sur les informations à échanger. S'il existe une norme ISO proposant une méthode de description, les cas pratiques d'usage restent à décrire. Deux types de familles d'informations constituent le projet tout au long de son cycle de vie :

→ **Informations spécifiques (ad hoc)** rattachées très particulièrement à l'ouvrage considéré. Ce sont

des besoins client uniques, des clauses d'insertion, des effets de site, l'intégration de process, le développement de formes et de fonctions uniques, une durabilité... Ces informations de *programme ad hoc* doivent intégrer un modèle de structuration de données, à définir, pour être communiquées et traitées.

→ **Informations conventionnelles** rattachées à des besoins de métier et ou de discipline. Elles sont utilisées de manière récurrente pour des ensembles d'ouvrages. Et parce qu'elles peuvent être préalablement définies, elles s'intègrent naturellement dans des processus d'échanges normalisables. C'est en sens des travaux de normalisation que nous voulons ouvrir.

3- Qualifications des informations échangées.

3- Classification of the information exchanged.

Les échanges sont définis par un contenu sémantique : définition, corpus normatif, règlements, dictionnaire, usage, statut de validation, statut obligatoire, ce qui permet de considérer avec précision les entités permises et attendues ainsi que leurs attributs obligatoires et interdits. L'optionnel est une notion qui introduit du particularisme et il est donc à proscrire.

Ces besoins, régis par des règles, permettent la mise en œuvre d'outils de contrôle lors de l'échange.

Il est important de permettre des échanges de données les plus riches possible pour intégrer toute la valeur des métiers.

ACCÉDER AUX CATALOGUES DE PRODUITS DES INDUSTRIELS

Les industriels fabricant des produits manufacturés deviennent par ces technologies des acteurs au cœur des modélisations.

La politique industrielle, avec son jeu de prescriptions, doit laisser les processus d'élaboration des ouvrages collaboratifs et itératifs largement ouverts à tous les acteurs tout au long du cycle de vie et permettre librement toutes actions

sur les produits retenus pour le projet. Conserver les critères de la prescription associés au produit-catalogue retenu permet le contrôle des objectifs et préserve la liberté de choix.

La norme dite PPBIM XP P07-150, publiée début 2015, donne des règles permettant l'établissement d'un référentiel harmonisé des propriétés produits et systèmes. Ce référentiel correspond à une harmonisation du contenu de différents dictionnaires auxquels différents acteurs de différents métiers font référence et usage.

TRACER LES ÉVOLUTIONS DE LA MAQUETTE

Il faut pouvoir gérer les changements et la version des informations du modèle, les échanges d'une partie du modèle (correspondant à un métier, une zone géographique, etc.). Autrement dit tracer les données, contrôler les droits d'accès en lecture ou écriture des informations du modèle, suivre les modifications (qui, version) et les décisions prises : c'est le processus d'échange des contributions partielles de chaque acteur.

COMMENT INSTAURER LA CONFIANCE DANS L'ÉCHANGE ET GARANTIR LA QUALITÉ DE L'ÉCHANGE ?

La confiance est le prérequis pour associer sa responsabilité aux informations produites.

Sa production propre est créée avec son outil de modélisation ou de simulation. Le livrable n'est qu'un résultat extrait du modèleur, correspondant aux exigences du client. Des règles strictes doivent permettre de s'en assurer, seule condition pour que le modèle global devienne la référence projet fiabilisée et incontournable.

Les savoir-faire des acteurs, non requis par les besoins des BIM projet, ne sont pas communiqués. Tout comme un plan papier, le livrable n'est qu'une image, compréhensible directement

par une machine et capable de servir de fond de plan à un autre acteur.

COMMENT GÉRER LA COORDINATION ?

La coordination des modèles nécessite l'établissement de règles communes : certaines au niveau des projets (règles spatiales par un système orthométrique de projet, etc.) ; d'autres, récurrentes, répétées de projet en projet (règles de structuration de l'information, flux, etc.).

COMMENT CONNECTER SES OUTILS INTERNES POUR ÊTRE EFFICACE ?

Il faut veiller, dès le démarrage d'un projet, à l'insertion possible des BIM de chaque partenaire, tout au long du cycle de vie, afin de valider, valoriser, incrémenter ou orienter les informations échangées. Seule une validation par les acteurs (métiers) peut garantir la qualité et la pertinence du modèle réalisé en commun.

C'EST POUR RÉPONDRE AU BESOIN DE RÈGLES DE PARTAGE QUE DES NORMES SONT DÉVELOPPÉES

Les IFC définissent un format neutre d'échange. Mais il faut les compléter par des règles d'utilisation selon l'étape du cycle de vie, le niveau de détail attendu, le métier, le projet.

La possibilité d'un accès direct aux catalogues des fabricants nécessite aussi des règles d'usage.

L'utilisation d'un BIM projet collaboratif en mode intégré peut s'appuyer sur des normes développées par l'aéronautique ou l'automobile, secteurs plus avancés sur le sujet que la construction.

La durée de vie d'un bâtiment est de l'ordre de 100 ans.

L'archivage des modèles de données n'est pas à négliger. Les normes sont implémentées au niveau des outils logiciels et concernent *in fine* les éditeurs. Nous devons les guider par des prescriptions claires.

C'est nous (acteurs du secteur de la construction) que la mise en œuvre du BIM touche directement. C'est pourquoi il faut s'y impliquer.

Le Comité Européen de Normalisation est l'échelle pour la normalisation avec ses 33 pays membres. Nos besoins d'utilisateurs doivent être entendus pour disposer d'outils efficaces et fiables et installer nos processus de travail. Il nous faut être présents maintenant et ensemble, tous acteurs réunis. Aujourd'hui le BIM réveille des travaux et des contributions de toutes parts. Chaque acteur invente des fonctionnements et des cas d'usages, détient sa vérité et rédige des conventions avec ses règles pour tenter au mieux d'éclaircir le terrain, en s'inspirant des Américains, des Anglais, de l'Asie...

Ces comportements nous dirigent vers une situation où un projet est un BIM spécifique, à charge de chacun des acteurs d'adapter ses pratiques à ce BIM ad hoc.

Que deviennent alors les processus acteurs ? Quels repères ? Quels gains ?

Pour enrayer ces dérives et diriger les efforts vers des travaux utiles et acceptés par la communauté, il paraît important que les acteurs du BTP, au travers de leurs organisations professionnelles entrent en normalisation à l'AFNOR, espace de dialogue structuré aux règles établies, en vue de rédiger une norme de référence. Par l'harmonisation, il en résultera une démarche de simplification essentielle pour les pratiques du BIM à l'usage des acteurs du BTP.

Les acteurs opérationnels du BTP doivent créer les spécifications d'échange et les décrire conformément à leurs besoins, leurs métiers, leurs savoir-faire. Ils sont un préalable nécessaire au développement du BIM. La mise en œuvre du BIM nécessite une harmonisation des catalogues (norme PPBIM), un format d'échange interopérable (IFC) et des spécifications pratiques d'échange. Depuis le début des travaux européens, la commission

AFNOR/PPBIM a soutenu ces trois thèmes du BIM, ce qui explique la pluralité des acteurs engagés.

En vue d'organiser durablement nos activités du BIM, nous avons pris l'initiative de proposer un projet de norme au CEN/TC 442 BIM relatif aux spécifications du contenu des informations échangées, en veillant à les rendre non dépendantes du jeu des acteurs, qui reste une prérogative réglementaire nationale. Au travers des disciplines qui structurent un projet, et pour chacune d'elles, tout au long des phases du cycle de vie, nous proposons de qualifier les DATA DROP (*QUOI* : ou les données d'entrée et de sortie), les DATA HOW (*COMMENT* : ou le circuit de l'information) et les DATA FLOW (*QUAND* : ou les phases).

La normalisation du BIM est la base de confiance indispensable aux partenaires d'un projet.

LA NORMALISATION DE L'ÉCHANGE : RISQUE OU NECESSITÉ ?

→ La connaissance et la créativité sont dans les entreprises qui développent et détiennent des savoir-faire qu'il faut préserver. Nous sommes dans un marché concurrentiel.

→ L'information produite et fournie est définie par les attendus du client. Ce sont les livrables. Ils sont le fruit de l'expertise des entreprises. Tout comme un plan, une maquette n'est que le résultat d'une étude.

→ La mise en œuvre d'un échange d'information nécessite que tous les partenaires d'un projet donné acceptent des nouvelles règles.

→ Il n'y a pas de compétition au niveau de l'échange. Au contraire il est nécessaire de mettre en place des projets de recherche rassemblant tous les acteurs de la filière pour définir une voix commune, comme le Projet National MIN'D.

→ La normalisation est la base de la confiance entre partenaires. □

ABSTRACT

BIM AND STANDARDISATION

MARIE-CLAIRE COIN, EIFFAGE - CLAUDE DUMOULIN, BOUYGUES TP

BIM is leading an entire industry to enter the digital world. BIM can be learned. It is a new terminology, processes, technologies, data and, in the centre, actors. In this landscape, a common language must be created. Standardisation, by proposing a path and establishing shared rules, goes hand-in-hand with the development of BIM. Information sharing, information creation, the information circuit and the exploitation of information are key issues in BIM. Information management is the proposition that we are developing. □

BIM Y ESTANDARIZACIÓN

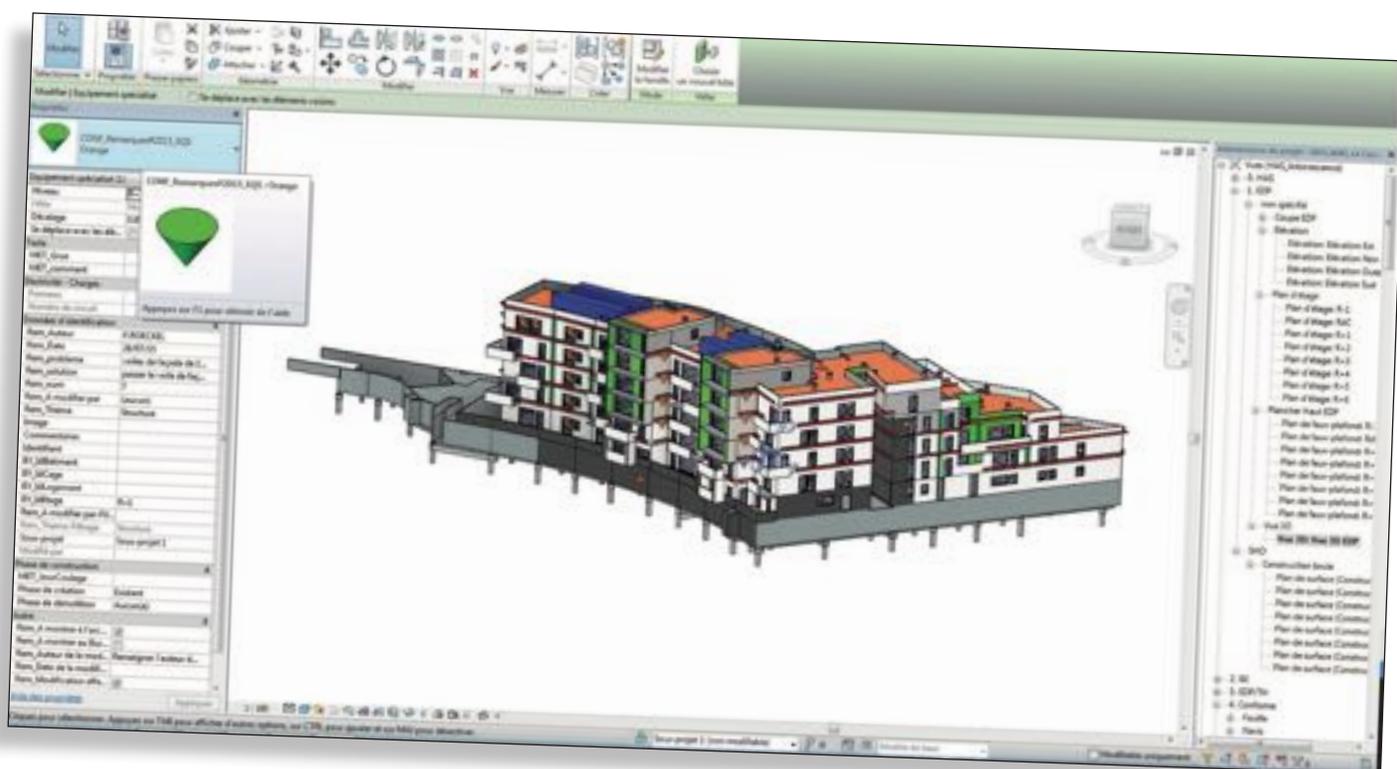
MARIE-CLAIRE COIN, EIFFAGE - CLAUDE DUMOULIN, BOUYGUES TP

El BIM conduce al conjunto de una profesión a entrar en el mundo digital. El BIM se aprende. Implica una terminología nueva, unos procesos, unas tecnologías y unos datos, con los actores en el centro del proceso. En este paisaje es preciso crear un lenguaje común. La estandarización propone un camino y establece normas comunes para acompañar el desarrollo del BIM. La puesta en común de la información, la creación de la información, el circuito de la información, el aprovechamiento de la información son los temas centrales del BIM. El dominio de la información es la propuesta que nosotros desarrollamos. □

LA MAQUETTE INTÉGRÉE LOGEMENT POUR UNE GESTION DE PROJET BIMée

AUTEURS : THIERRY DE SEVERAC, DIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE ET DU DÉVELOPPEMENT, BOUYGUES BÂTIMENT ÎLE-DE-FRANCE / HABITAT SOCIAL -
CARLOS DA SILVA MEIRA, DIRECTEUR DE L'INGÉNIERIE DE PROJET, BOUYGUES BÂTIMENT ÎLE-DE-FRANCE / HABITAT SOCIAL -
SIMON BROUCK, INGÉNIEUR ÉTUDES DE PRIX, BOUYGUES BÂTIMENT ÎLE-DE-FRANCE / HABITAT SOCIAL

ALORS QUE, POUR LA CONCEPTION DE GRANDS PROJETS DE TYPE OUVRAGES FONCTIONNELS, L'UTILISATION DU BIM CORRESPOND À LA SYNTHÈSE D'UN ENSEMBLE DE MODÈLES DIFFÉRENTS (MAQUETTE GO, MAQUETTE CHARPENTE, MAQUETTE FAÇADE, ETC.), L'UTILISATION DU BIM CHEZ BOUYGUES CONSTRUCTION POUR LES PROJETS DE LOGEMENT S'ARTICULE AUTOUR D'UN RÉFÉRENTIEL UNIQUE, OUTIL DE MODÉLISATION MULTI-MÉTIERS MIS À DISPOSITION DE L'ENSEMBLE DES INTERVENANTS DU PROJET. CETTE RUPTURE AVEC LES VIEILLES PRATIQUES DE TRAVAIL SÉQUENTIEL ET EN SILOS PERMET D'ABORDER LES PROJETS DANS UNE VÉRITABLE DÉMARCHE D'INGÉNIERIE CONCOURANTE.



© BOUYGUES 1

Chez Bouygues Bâtiment Île-de-France - Habitat Social, les objectifs recherchés à travers l'utilisation de la maquette numérique sont multiples : il s'agit de concevoir et d'effectuer les études techniques de manière collaborative et le plus tôt possible pour encore optimiser la qualité de réalisation et, par une meilleure anticipation, toujours mieux en maîtriser le coût.

L'ORIGINE DE LA DÉMARCHE : S'INSPIRER DES PROCESSUS INDUSTRIELS

Le marché cible de l'entreprise présentant une certaine récurrence de taille et de prestations sur les projets, Bouygues Bâtiment Île-de-France - Habitat Social a toujours souhaité maximiser le potentiel d'industrialisation de ses réalisations, source de qualité plus aboutie et de rationalisation des coûts.

1- Travail collaboratif sur Revit.

1- Collaborative work on Revit.

Dans cette perspective, l'intégration dans les projets de produits industriels finis ou semi-finis, associée à une démarche « Lean » dans l'organisation des chantiers, fait déjà partie du quotidien de l'entreprise depuis de nombreuses années (figure 2).

Par ailleurs, la démarche de Lean Construction ne se réduit pas seulement à l'acte de construire mais commence dès le début de la conception et des

LA DÉMARCHE INOV PAC CHEZ BOUYGUES



© BOUYGUES
2

études sur l'ouvrage à réaliser. La coordination et la bonne gestion de l'information - tant en phase amont qu'en phase exécution - sont des paramètres parfois difficiles à gérer et génèrent des problématiques très particulières à la gestion de projet dans le secteur du BTP.

Ils sont donc des gisements d'optimisation importants.

Ainsi, pour répondre à ces enjeux, la filière du bâtiment peut bénéficier, à travers le BIM, de toute la puissance et de tout le potentiel offerts par les technologies numériques, parmi lesquelles, une meilleure puissance de calcul et une gestion de l'information exhaustive et centralisée.

C'est donc dès 2011 que les filiales françaises de Bouygues Bâtiment, et

2- La démarche Inovpac chez Bouygues.

3- Référentiel unique MIL.

2- The Inovpac approach at Bouygues.

3- Unique MIL data repository.

particulièrement Bouygues Bâtiment Île-de-France - Habitat Social, se sont engagées dans la démarche de « numérisation des métiers ».

L'OUTIL MIL : UN RÉFÉRENTIEL UNIQUE

Pour parvenir à ces objectifs, les équipes d'Habitat Social ont développé la MIL : Maquette Intégrée Logement. Cet outil, combinaison du logiciel Revit et du savoir-faire de Bouygues Bâtiment Île-de-France - Habitat Social, permet d'intégrer une gestion de projet adaptée à un référentiel unique (figure 3). Le paramétrage du gabarit permet, sur la base d'un seul objet virtuel, de partager l'ensemble des informations d'un projet avec chaque membre de l'équipe ; tous disposant de vues adaptées aux particularités de leurs différents métiers. Par ailleurs, le gabarit est compatible avec les outils ou logiciels spécialisés des intervenants au projet et permet de faire des exports fiables et

cohérents pour l'exploitation des données (descente de charge, calcul thermique, simulation thermodynamiques, études de prix, etc.) (figures 4 et 5). La Maquette Intégrée Logement est également utilisée comme support de communication privilégié avec les intervenants externes à l'entreprise, notamment par l'intermédiaire d'interfaces web ou de visionneuses.

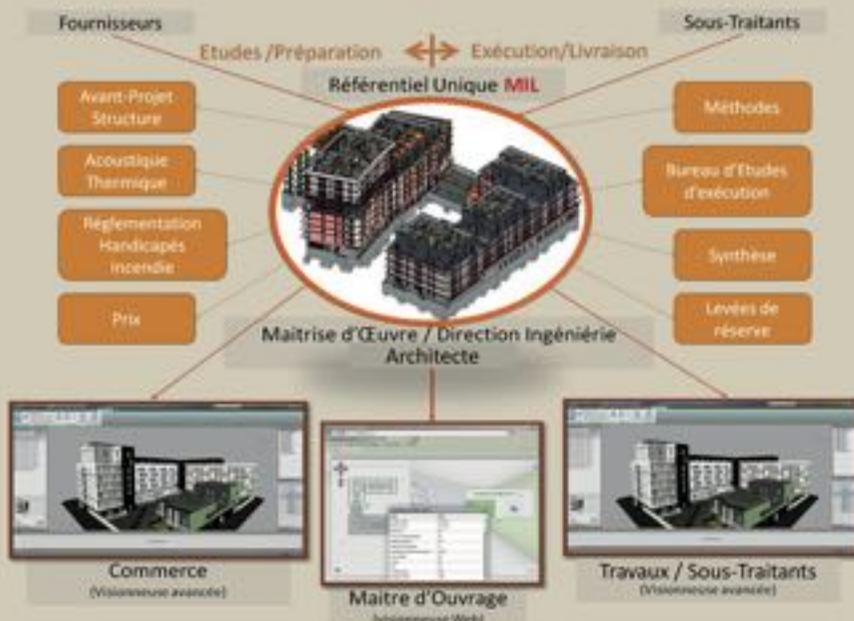
Pour se conformer facilement aux différentes exigences de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre, l'outil dispose d'une bibliothèque d'objets BIM adaptée aux spécificités du marché d'Habitat Social : logements, résidences pour étudiants, résidences jeunes travailleurs, EHPAD, etc.

Ensuite, la flexibilité du gabarit lui permet, d'une part, de s'adapter à tout mode d'adjudication de marché - qu'il s'agisse d'appels d'offre classiques, de conceptions/réalisations ou encore de montages d'opération en VEFA - et, d'autre part, d'accompagner le projet depuis les premiers stades de la conception jusqu'à la livraison de l'ouvrage de l'esquisse au DOE. L'utilisation de la Maquette Intégrée Logement garantit la continuité et la pérennisation de l'information tout au long du cycle de vie du projet (figure 6).

Dans les premières phases du projet et plus particulièrement pour les conceptions/réalisations ou les montages d'opération, la « MIL Architecte » - version allégée du gabarit - permet de faire des volumétries, des études de capacités et d'appréhender l'intégration du projet dans son environnement. Cette version bénéficie d'une légèreté d'interface pour éviter d'alourdir le travail des architectes tout en préservant la compatibilité avec les outils internes de l'entreprise. Plusieurs ateliers d'architecte l'ont déjà utilisée, parmi eux Groupe A, Cenci & Jacquot, Louis Paillard et BLM.

Travailler en "collaboratif" implique logiquement de collaborer pour élaborer les outils qui doivent servir à tous. C'est ainsi que, dans une démarche d'Open Innovation, Habitat Social met à disposition la Maquette Intégrée Logement en "libre-service" pour qui souhaite l'utiliser et/ou contribuer à son amélioration. Elle est régulièrement mise à jour pour toujours mieux répondre aux attentes des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre tout en intégrant progressivement de plus en plus de fonctionnalités ; l'objectif final de Bouygues Bâtiment étant de pouvoir rendre compte d'une base de données exhaustive de l'objet à construire. ▹

RÉFÉRENTIEL UNIQUE MIL



© BOUYGUES
3

L'ORGANISATION HUMAINE : L'INGÉNIERIE CONCOURANTE

Pour chaque nouvelle affaire attribuée à Habitat Social, les équipes d'ingénierie s'organisent selon un processus BIM collaboratif intégré. La construction du modèle numérique « MIL études » - plus détaillé - est mise en place sur la base du « MIL architecte » préalablement réalisé.

Le processus d'étude s'articule autour d'un seul et même modèle sur la base d'un fonctionnement en mode fichier central, ce qui permet à l'ensemble des intervenants de travailler en même temps sur l'objet avec la synchronisation des modifications en temps quasi-réel et sans problème de collision. Pour effectuer ses études, chaque métier (Bureau d'Études Structure, Acoustique/Thermique, Réglementation Handicapé et Incendie, Études de prix, etc.) dispose, sur son poste de travail, d'une copie locale de la maquette qui est fréquemment synchronisée avec le modèle central, lui-même hébergé sur un serveur commun. Cette organisation permet à chacun de fixer une "propriété temporaire" de certains objets qu'il souhaite modifier, sans qu'un autre intervenant ne vienne perturber ou altérer les changements en cours d'exécution. La propriété de l'objet est ensuite annulée à chaque synchronisation pour permettre à d'autres métiers d'intervenir à leur tour sur l'élément modifié. L'information est la même pour tout le monde, les données de conception sont ainsi fiabilisées pour une préparation encore plus poussée de la phase travaux.

Sur la base d'une gestion des remarques intégrée au gabarit, la gestion de projet est gérée par un Responsable de la Coordination de l'Ingénierie qui se charge périodiquement d'effectuer des revues multi-métiers pour faire remonter les éventuels problèmes, incohérences ou points de blocage à résoudre de manière collégiale et en partenariat avec l'architecte du projet.

Les remarques et points résolus sont ensuite archivés pour assurer un bon suivi et une bonne traçabilité des études.

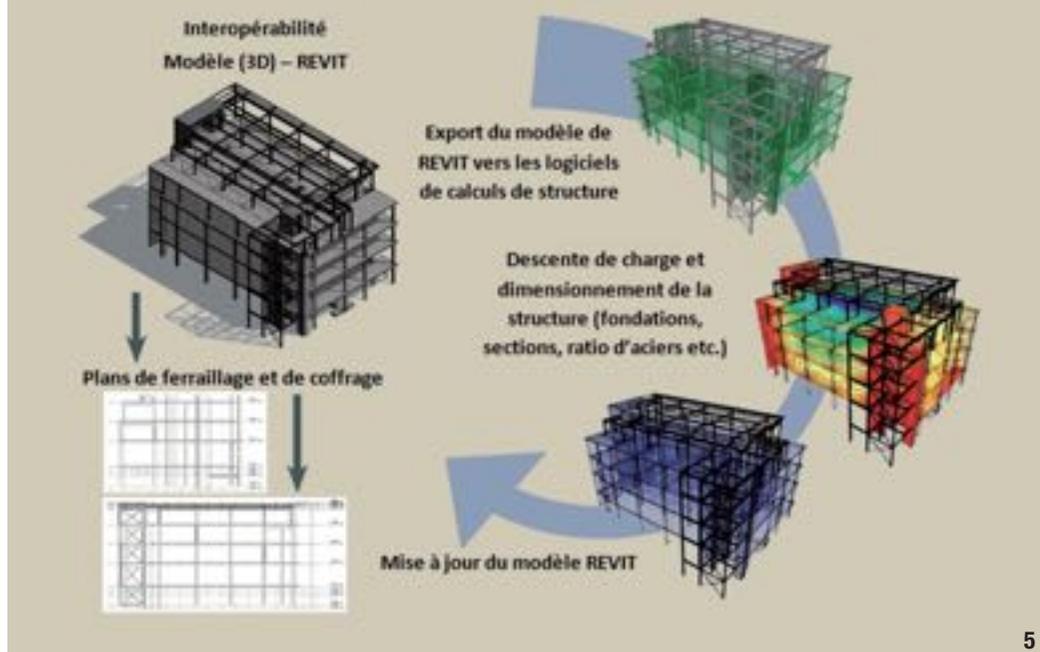
À ce jour, le modèle virtuel intègre toutes les études et les éléments nécessaires pour le marché, le chiffrage détaillé et le démarrage de chantier (figure 7). Cette organisation s'intègre plus largement dans ce qui est appelé, en interne chez Habitat Social, le « processus conforme ». Il s'agit d'une démarche de mobilisation des acteurs du projet, le plus en amont possible, dans l'objec-



4

© BOUYGUES

EXPORT D'UNE MAQUETTE MIL SOUS LES LOGICIELS DE STRUCTURE



5

© BOUYGUES

tif de réaliser une parfaite mise au point de l'objet à construire avant le début de l'exécution.

Ce mode d'organisation, par une meilleure synthèse du projet et une intégration au plus tôt des éléments dimensionnant l'ouvrage à réaliser, permet de mieux anticiper les travaux et, par conséquent, de réaliser des gains en qualité, en productivité et donc en coûts, tant lors de la phase conception que lors de la phase exécution.

Un accompagnement pendant la réalisation des travaux est d'ailleurs proposé par la « cellule synthèse » de la direction technique d'Habitat Social aux

- 4- Export d'une maquette MIL sous ArchiWizard.
- 5- Export d'une maquette MIL sous les logiciels de structure.

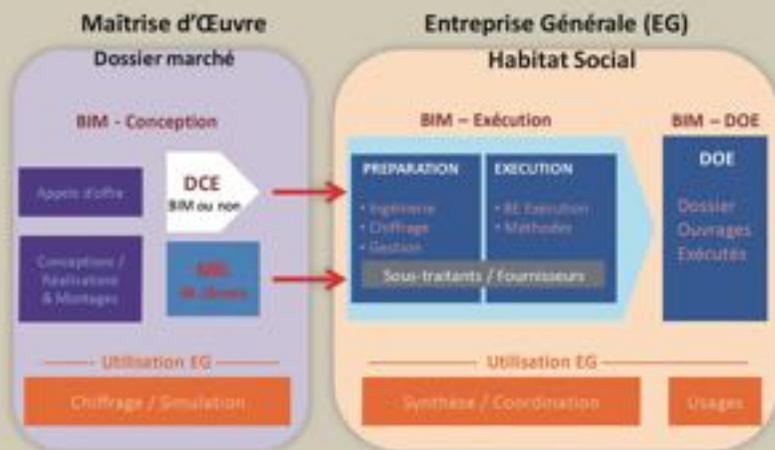
- 4- Export of a MIL model under ArchiWizard.
- 5- Export of a MIL model under the structure software.

équipes d'exécution pour le suivi et la mise à jour de la maquette au cours de cette phase de la vie du projet.

Dans cette perspective, l'entreprise s'oriente vers la généralisation d'une livraison des ouvrages avec ce qui est communément appelé le « DOE++ » ou « DOE virtuel », intégré sur le support BIM, qui permet au maître d'ouvrage, grâce à une base de données facilement exploitable et accessible, de faciliter l'exploitation et la maintenance du bâtiment et de suivre l'évolution dans son cycle de vie.

La réalisation d'un prototype, sur la base d'un gabarit numérique adapté

PROCESSUS HABITAT SOCIAL



d'œuvre, le travail de co-conception est réalisé, à ce jour, sur le mode d'une organisation collaborative organisée, fondée sur le même gabarit.

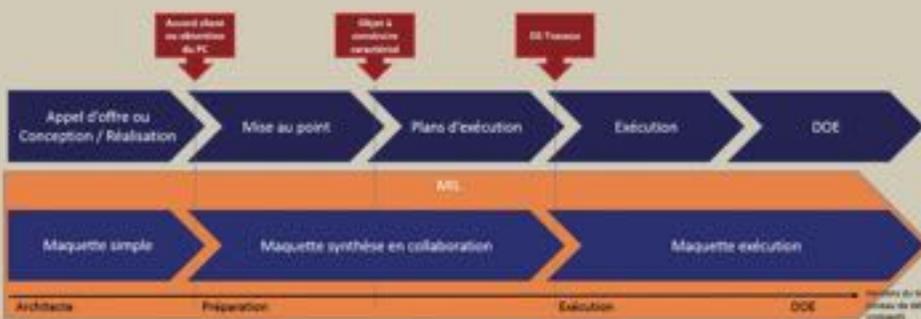
Une charte de modélisation a d'ailleurs été créée pour communiquer les principales règles de modélisation utilisées en conformité avec les modes constructifs. L'organisation en interne correspond au schéma d'ingénierie concurrente décrit dans la partie précédente et les échanges avec la maîtrise d'œuvre se font de manière séquentielle à partir du même objet virtuel.

Le principe d'une organisation collaborative intégrée, en temps réel, est en cours d'expérimentation sur des serveurs dédiés avec plusieurs architectes. Ce mode de fonctionnement présente une opportunité de s'ouvrir toujours plus malgré encore quelques obstacles. Il faut encore notamment travailler à résoudre les questions de propriété, de confidentialité et de partage des données pour chacun des intervenants. Le cadre juridique est à écrire, grâce aux contributions de l'expérimentation, pour fixer les règles d'un fonctionnement collaboratif intégré fluide et optimisé.

Hormis les serveurs dédiés et les types de vues associés aux différents métiers propres à la construction, c'est particulièrement la gestion des droits d'accès pour les modifications, les processus de validation et la gestion documentaire qui représente un enjeu important pour travailler ensemble, avec la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre, les co-traitants, les sous-traitants, les industriels, etc.

Il s'agit là d'un des grands axes du Plan Transition Numérique dans le Bâtiment : expérimenter, s'approprier et développer un écosystème numérique de confiance autour de l'acte de construire. □

ÉVOLUTION DE LA MAQUETTE AU COURS DU PROJET



aux spécificités du marché, dans une démarche de « construire avant de construire » constitue une nouvelle approche de l'entreprise générale de construction, plus proche des industries de production en série comme l'automobile ou l'aéronautique.

Le BIM chez Habitat Social ne relève ainsi, pas seulement du Building Information Modelling, mais également du Building Information Management.

6- Processus Habitat Social.
7- Évolution de la maquette au cours du projet.

6- Social Housing process.
7- Organisation of the models.

Le MIL constitue une première ébauche de ce vers quoi l'entreprise souhaite tendre, c'est-à-dire un véritable outil de PLM (Project Lifecycle Management) compatible avec les différentes spécificités et contraintes du métier.

L'ORGANISATION AVEC LES AUTRES ACTEURS

Avec les intervenants du projet externes à l'entreprise, notamment la maîtrise

ABSTRACT

THE INTEGRATED HOUSING MODEL FOR PROJECT MANAGEMENT UNDER BIM

BOUYGUES: THIERRY DE SEVERAC, CARLOS DA SILVA MEIRA, SIMON BROUCK

For the design of its projects, Bouygues Bâtiment Île-de-France - Habitat Social has established a BIM process based on a unique data repository intended both for in-house personnel and for contractors from outside the firm. This unique, collaborative modelling tool offers the benefits of adaptability to all contract tender systems, multi-trade compatibility, reliability of the information transmitted and continuity of the model from the sketch to the as-built file. In parallel to this tool, the human organisation has adapted to the method of concurrent engineering allowing work to be performed, simultaneously and as far upstream as possible, by all the entities involved on all types of project. □

LA MAQUETA INTEGRADA DE VIVIENDAS PARA UNA GESTIÓN DE PROYECTO BASADA EN EL BIM

BOUYGUES: THIERRY DE SEVERAC, CARLOS DA SILVA MEIRA, SIMON BROUCK

Para el estudio de sus proyectos, la promotora de vivienda social Bouygues Bâtiment Île-de-France - Habitat Social ha establecido un proceso BIM basado en un estándar exclusivo dirigido tanto a los intervinientes internos como a los externos a la empresa. Esta herramienta de modelización exclusiva y colaborativa presenta varias ventajas: adaptabilidad a cualquier modo de adjudicación de contratos, contabilidad multi-actividad, fiabilidad de la información transmitida y continuidad de la maqueta desde el esbozo hasta el DOE (Dossier de Obras Ejecutadas). Paralelamente a esta herramienta, la organización humana se ha adaptado en forma de una ingeniería concomitante que permite la intervención simultánea y con la máxima antelación del conjunto de intervinientes en todo tipo de proyectos. □

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE AU SERVICE DES DÉCIDEURS

AUTEURS : PIERRE BENNING, DIRECTEUR ADJOINT INFORMATIQUE TECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - CHRISTOPHE GUYONNET, CHEF DE SERVICE ÉTUDE ET TECHNIQUE, DTP - TARA MARTIS, INGÉNIEUR EN BIM MANAGEMENT, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS -

L'UTILISATION DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE SE CANTONNE SURTOUT, AUJOURD'HUI, À DES ASPECTS DE CONTRÔLE DE COHÉRENCE DES DONNÉES GÉOMÉTRIQUES ÉLABORÉES PAR L'ENSEMBLE DES ACTEURS DE LA CHAÎNE DE VALEUR D'UN PROJET. MAIS LE BIM A DES VERTUS PLUS AMBITIEUSES, ORIENTÉES « SUPPORT À LA DÉCISION ». LE BUT DE CET ARTICLE EST DE METTRE EN AVANT LES USAGES POSSIBLES DU BIM POUR LA DIRECTION D'UN PROJET.



INTRODUCTION

Le BIM est un environnement de conception collaborative qui répond à deux grandes catégories d'acteurs :

- Ceux qui collaborent et réalisent la maquette numérique : chaque contributeur récupère les informations dont il a besoin pour travailler, puis apporte et partage sa propre valeur ajoutée dans un ensemble structuré et cohérent ;
- Ceux qui utilisent cette technologie pour prendre des décisions : le Directeur de Projet en est le parfait

exemple, même si cet aspect du BIM est encore à l'état embryonnaire et actuellement le moins mis en valeur, alors que c'est le plus prometteur.

Et pourtant, la décision de mettre en œuvre un environnement BIM sur un projet dépend avant tout des objectifs décidés par le Directeur de Projet. Nous allons donc présenter comment la gouvernance du BIM peut répondre aux exigences de management et de support de décisions d'une Direction de Projet.

1- Gestion des incohérences et des conflits - La représentation graphique associée à la liste des sujets à résoudre.

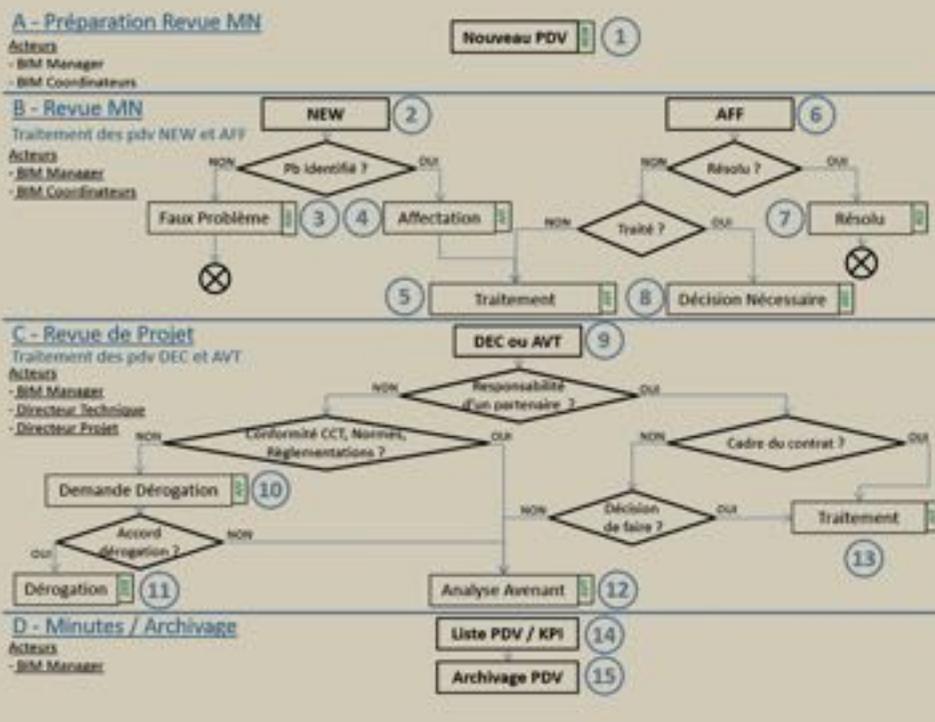
1- Management of inconsistencies and conflicts - The graphic representation associated with the list of issues to be solved.

PROCESSUS DE CONTRÔLE DE COHÉRENCE

Les processus traditionnels actuels de conception d'un grand projet sont encore très séquentiels. Il y a peu de travail simultané, ou du moins pas dans le même référentiel partagé.

Les études des différentes disciplines sont bien sûr réalisées en parallèle, mais ne sont souvent mises en cohérence que lorsque leur avancement est significatif. Ces limitations sont encore principalement liées aux outils logiciels. Pour le moment les proces-

UN EXEMPLE DE PROCESSUS DE GESTION DES INCOHÉRENCES ET CONFLITS



© BOUYGUES TP 2

sus de gestion des tâches n'autorisent pas le travail en simultané de différents concepteurs-modéleurs sur des objets partagés en commun. On peut imaginer que ceci se développe pour des métiers différents dont le périmètre de responsabilité est parfaitement identifié.

C'est pourquoi les revues de conception et de synthèse sont indispensables pour coordonner les intervenants.

Dans un processus BIM, la revue de maquette et la revue de projet sont deux étapes primordiales, qui nécessitent organisation et préparation consciencieuses. La revue de maquette est avant tout dédiée à la résolution des incohérences par les acteurs directs, concepteurs et constructeurs, qui associent et partagent leur valeur ajoutée dans une maquette globale 3D commune. La revue de projet est le siège des décisions, qui arbitre sur des choix et évalue l'impact de ces choix sur la conduite du projet. Ce sont les membres participant à cette revue de projet qui gouvernent véritablement la maquette numérique, car ce sont eux qui définissent les objectifs de la maquette et contrôlent sa performance. Le processus de synthèse et de contrôle de cohérence des données est actuellement un des usages les plus pertinents et les mieux maîtrisés de la maquette numérique. Pour réa-

2- Un exemple de processus de gestion des incohérences et conflits.

2- An example of a process for management of inconsistencies and conflicts.

liser cette synthèse, le premier travail de collaboration de tous les acteurs experts est de définir les scénarios de collision, c'est-à-dire les risques potentiels d'incohérence qu'il faudra vérifier et résoudre à chaque avancée de la conception. Ce sont ces scénarios qui jouent un rôle primordial dans le travail du BIM Manager et débouchent sur la structuration des familles d'objets qui seront intégrées dans la maquette. C'est une tâche à réaliser très en amont, avant le démarrage des modéleurs, car elle conditionne le « building breakdown structure » du projet, c'est-à-dire la décomposition spatiale et systématique du projet. Celle-ci aidera par ailleurs à représenter le phasage dans la maquette. Cette liste de scénarios d'incohérences envisagés n'est généralement pas exhaustive au démarrage

du projet et doit donc se compléter au fur et à mesure de l'avancement des études à l'aide de l'implication des contributeurs de la maquette.

Ces détections de collisions et d'incohérences mènent au processus de gestion de ces conflits (figure 1), afin de les résoudre correctement et en totalité avant la construction des ouvrages. On parle alors de maquette *clash free*, c'est-à-dire d'une modélisation sans aucune incohérence. On prendra garde de veiller à une cohérence des *Levels of Development* (LOD ou Niveaux de Développement) des différents éléments, c'est-à-dire leur niveau de définition dans une phase donnée, afin de ne pas contraindre et polluer la maquette par des informations trop abouties en phase amont.

La revue de maquette est également un processus collaboratif, qui rassemble les contributeurs de données autour du modèle 3D commun, et vise à désigner les acteurs qui doivent agir pour résoudre ces incohérences. Mais certains conflits, de par leur nature impactante sur les coûts, les délais ou la qualité des ouvrages, ou encore non-conformes à une réglementation ou un CCTP, nécessitent une décision en haut lieu, au niveau de la direction de projet. La décision pour leur résolution sera donc prise en revue de projet.

PROCESSUS DE DÉCISION ET D'ARBITRAGE

La revue de projet est un processus traditionnel, souvent mensuel, de tout projet de construction. Se réunissent en revue de projet, les responsables de chaque société partenaire du projet. Au-delà des problèmes contractuels et stratégiques résolus pendant cette réunion, l'utilisation d'une maquette numérique partagée et à jour, donne l'occasion au BIM Manager présent d'exposer de manière organisée et suivie les conflits et incohérences qui nécessitent une décision d'arbitrage. Le BIM Manager passe en revue un par un les sujets non encore résolus, et propose éventuellement des alternatives possibles. Pour cela il propose un flux de résolution des incohérences et conflits, comme on peut en trouver un en figure 2. Cela demande de la préparation pour envisager l'ensemble des variantes valorisées, voire des combinaisons de possibilités. En effet, l'impact sur le coût, le délai ou la qualité des ouvrages doit être estimé au mieux. De même, si cela est incontournable, des demandes de dérogation à des règlements ou des CCTP doivent être envisagées, afin de pallier les situations les plus complexes.

Grâce à l'utilisation de la maquette 3D, la direction de projet peut donc faire des choix et décider en toute connaissance de conséquences.

PROCESSUS DE SUIV D'IMPACTS DE MODIFICATIONS

Un autre des usages de la mise en place d'un environnement BIM, sans doute le plus prometteur car le plus partagé et appréciable par l'ensemble des acteurs, réside dans la simulation d'impacts, suite à la modification d'une donnée fondamentale du projet. En effet, le principe même d'une maquette numérique 3D, composée d'objets ontologiques liés les uns aux autres, est qu'elle est compréhensible et interprétée par une machine. L'ordinateur pouvant contextualiser une information, pourra alors mettre en évidence les conséquences d'une variante proposée. Cela suppose évidemment un travail rigoureux de la part des modéleurs (respect strict des chartes informatiques et des guides de mise en œuvre de la maquette numérique du projet), et surtout une agrégation analytique stricte lors de la mise en commun des données, issues de bureaux d'étude différents œuvrant avec des logiciels différents. C'est cette interopérabilité entre les données hétérogènes qui

est aujourd'hui au centre névralgique de la maquette numérique. Lorsque le format neutre d'échange sera parfaitement défini et maîtrisé, lorsque les éditeurs de logiciels de modélisation et de simulation auront compris la finalité de leurs exports et des utilisations par les utilisateurs finaux, alors la maquette numérique donnera toute sa dimension : la simulation analytique globale, c'est-à-dire la compréhension immédiate de l'impact d'une modification sur les disciplines en interface avec ce changement. Pour cela, il faudra donc que tous les acteurs adhèrent au processus, en toute confiance et en toute transparence, afin de livrer à la communauté du projet des données structurées et connectées, qui permettront de constater rapidement l'influence d'un déplacement ou d'une variation sur l'ensemble des objets liés aux objets modifiés.

De même, les possibilités liées à la puissance des simulations, qu'elles soient dédiées au trafic routier (impact des engins de chantier et de logistique, impacts sur la fluidité de la circulation) ou aux nuisances dues aux travaux (bruit, pollution...) permettront bientôt d'adapter les séquences de construction aux contraintes environnementales. Par extension, il sera possible de lier à la géométrie le planning (4D) et les coûts associés (5D), afin de pouvoir choisir entre plusieurs alternatives temporelles et chiffrées.

PROCESSUS DE CONTRÔLE DE L'AVANCEMENT DES ÉTUDES ET DE CONSTRUCTION

Une des grandes inquiétudes des Directeurs de Projet réside dans la faible maîtrise de l'avancement des études au travers d'une maquette numérique. De nos jours, les processus traditionnels définissent une liste de plans prévisionnels, dont la livraison donne un état de l'avancement des études. L'utilisation



© BOUYGUES TP

d'une maquette numérique partagée bouleverse quelque peu cet indicateur, dans la mesure où la livraison des plans - encore contractuels aujourd'hui - est ajournée. En effet, la résolution des conflits et incohérences au sein du modèle 3D devient le déclencheur de la livraison des plans 2D, qui sont une vue particulière de la maquette 3D. Lorsque les plans validés sont livrés et diffusés, ils sont de meilleure facture et n'auront pas d'incohérence, ou peu, avec les autres disciplines. Ils seront donc peu modifiés et ne connaîtront donc que peu d'indices. Mais leur livraison plus « tardive » que dans le processus actuel est un facteur d'inquiétude et de mauvais contrôle de l'avancement global des études. Il faut donc revoir nos processus traditionnels et définir des indicateurs de performance permettant de mieux évaluer l'avancement des études dans chacune des phases de conception et de construction du projet. Ces indicateurs doivent être présentés sous forme d'un tableau de bord simple et adapté au projet particulier, tenu par le BIM Manager et consulté par le directeur de projet, car chaque type d'ouvrage possède ses propres critères de complexité et de risques critiques. Enfin, l'avancement de la construction pourra être suivi au moyen des nou-

3- Enchaînement des phases de construction, dans une maquette numérique liée au planning de réalisation des travaux.

3- Sequence of construction phases, in a computer model linked to the work performance schedule.

velles technologies performantes de relevés LIDAR, afin de comparer, au fil de l'eau, la géométrie théorique à celle réalisée. Et par la suite, au moyen de capteurs et d'objets connectés, les performances pourront être évaluées, afin de vérifier que les engagements pris ont été respectés.

CONCLUSION

Le BIM est un nouveau Système d'Information qui ne doit pas remettre en cause les processus traditionnels efficaces. Le BIM doit simplement pousser à revisiter ces processus, en facilitant le

travail collaboratif et concomitant entre les partenaires et acteurs, et en apportant la puissance des ordinateurs qui sauront interpréter nos données et proposer des choix. Le BIM doit devenir le support d'aide aux décisions du projet. C'est l'objectif ultime de ce nouvel environnement de travail, afin de maîtriser les risques, diminuer la non-qualité et respecter les engagements du contrat. Son déploiement massif et son utilisation systématique passent avant tout par une meilleure pédagogie, basée sur des *success stories* avec des retours d'expérience significatifs et valorisés. De nos jours, les directeurs de projet qui s'autorisent une telle démarche sur leur projet sont les pionniers d'une révolution qui va impacter tous les acteurs du secteur de la construction. Les risques sont encore élevés car les outils informatiques manquent de maturité et les processus collaboratifs ne sont pas parfaitement maîtrisés. Malgré tout cela, les retours des premières expérimentations sont enthousiasmants et différenciateurs, dans la mesure où la confiance a su s'instaurer entre les partenaires. L'implication forte des donneurs d'ordre devrait apporter encore plus de motivation et de valeur à ce nouvel environnement de travail collaboratif. □

ABSTRACT

COMPUTER MODELLING TO HELP DECISION MAKERS

P. BENNING, BOUYGUES TP - C. GUYONNET, DTP - T. MARTIS, BOUYGUES TP

In the design and build phases there are two categories of players: those who create the computer model in the BIM environment (optimisation by simulation, synthesis and data consistency) and those who use it to take decisions. This article focuses on the decision-making processes: how Project Directors, assisted by their BIM Manager, can use the computer model as a basis for arbitrating in the event of a dispute or inconsistency between disciplines, to monitor progress or the impacts of changes made to the project, and to supervise progress in the design engineering and construction phases. □

LA MAQUETA DIGITAL AL SERVICIO DE LOS RESPONSABLES DE LAS DECISIONES

P. BENNING, BOUYGUES TP - C. GUYONNET, DTP - T. MARTIS, BOUYGUES TP

Dos tipos de actores participan en las fases de diseño y construcción: aquellos que crean la maqueta digital en el entorno BIM (optimizaciones por simulaciones, síntesis y coherencia de los datos) y aquellos que la utilizan para tomar decisiones. Este artículo se centra en los procesos decisionales: ¿Cómo pueden los responsables de proyectos, asistidos por su BIM Manager, apoyarse en la maqueta digital para arbitrar en caso de litigio o de incoherencia entre disciplinas, para realizar un seguimiento de la evolución o los impactos de las modificaciones aportadas al proyecto, o para controlar el avance de los estudios o la construcción? □



1

© PHOTOTHÈQUE EMCC

DES OUVRAGES INTELLIGENTS GRÂCE À LA MAQUETTE NUMÉRIQUE (BIM)

AUTEURS : MATTHIEU DORÉ, PROJETEUR CHEF DE GROUPE, EMCC - FRÉDÉRIC AURY, DIRECTEUR TECHNIQUE, EMCC

ENCORE TRÈS PEU UTILISÉE EN TRAVAUX DE SPÉCIALITÉ COMME LES TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX OÙ LES CORPS D'ÉTATS SONT BEAUCOUP MOINS NOMBREUX QU'EN BÂTIMENT, LA MAQUETTE NUMÉRIQUE OU BIM DOIT TROUVER SON DÉVELOPPEMENT DANS DES APPLICATIONS TECHNIQUES COMME LE DIMENSIONNEMENT INTERACTIF, LE SUIVI, LA MAINTENANCE ET LA RÉ-INGÉNIERIE DES OUVRAGES EN FIN DE VIE.

INTRODUCTION

Les aménagements maritimes et fluviaux nécessitent la construction d'ouvrages de génie civil (quais, digues, batardeaux, etc.) en forte interaction avec le sol et l'eau. Contrairement au secteur du bâtiment, les corps de métier sont peu nombreux à intervenir sur ces ouvrages, ce qui fait que la mise en place de la maquette numérique (ou Building Information Modelling - BIM) au sens du travail collaboratif des corps d'états n'est pas ressentie comme une priorité. L'utilisation de la représentation 3D est, quant à elle, bien développée au stade des avant-projets et se met en place progressivement pour l'exécution. Mais, dans la plupart des cas, il est encore abusif de parler de BIM puisqu'aucune autre dimension que le dessin n'est utilisée.

La maquette numérique ou BIM est au stade du balbutiement pour l'exécution

1- Vue générale de la fouille aval.

1- General view of downstream excavation.

des ouvrages maritimes et fluviaux concernés par Emcc (Vinci Construction France). Dans ces domaines, les axes de développement du BIM ne se trouvent pas sur la synthèse des corps d'état car ils sont souvent peu nombreux, mais sur des applications plus techniques.

La forte interaction sol/eau/structure constitue une composante récurrente pour le dimensionnement des ouvrages maritimes et fluviaux. Les inconnues inhérentes à la complexité géotechnique et hydraulique des sites sont

toujours trop nombreuses pour aboutir à des projets optimaux. En intégrant au dessin 3D des dimensions structurelles telles que la résistance des tirants et des butons, les déformations limites du rideau de palplanches par rapport aux environnants et en reliant ces données à une instrumentation de l'ouvrage, le dimensionnement devient interactif. L'ingénierie intervient ensuite en temps réel pour corriger tel ou tel paramètre et proposer une adaptation du dimensionnement. L'exemple du dimensionnement interactif mis en œuvre par Emcc sur le chantier de la passe à poissons de Sauveterre à proximité d'Avignon constitue une ébauche d'application de la maquette numérique en ce sens. Les capteurs en place sur les ouvrages définitifs sont une aide précieuse au suivi et à la maintenance des ouvrages durant leur période d'exploitation. Un autre domaine de développement

du BIM est lié à la particularité des ouvrages maritimes et fluviaux qui sont souvent dimensionnés pour une durée de vie faible, 30 à 50 ans du fait de leur environnement agressif. En connaissant en temps réel l'état de l'ouvrage, la solution du démantèlement en fin de vie n'est plus inéluctable. Grâce à la base de données que constitue la maquette numérique, une ré-ingénierie est possible rapidement à partir d'un état des lieux connu et fiable. Cette démarche s'inscrit parfaitement dans les nouvelles tendances de conception et de maintenance pour une réduction de l'impact environnemental et une diminution de la génération des déchets.

Trois voies de développement principales de la maquette numérique sont en déploiement chez Emcc pour ses ouvrages :

→ Le dimensionnement interactif des ouvrages pendant la construction, ▷

VUE EN PLAN GÉNÉRALE DE LA PASSE À POISSONS



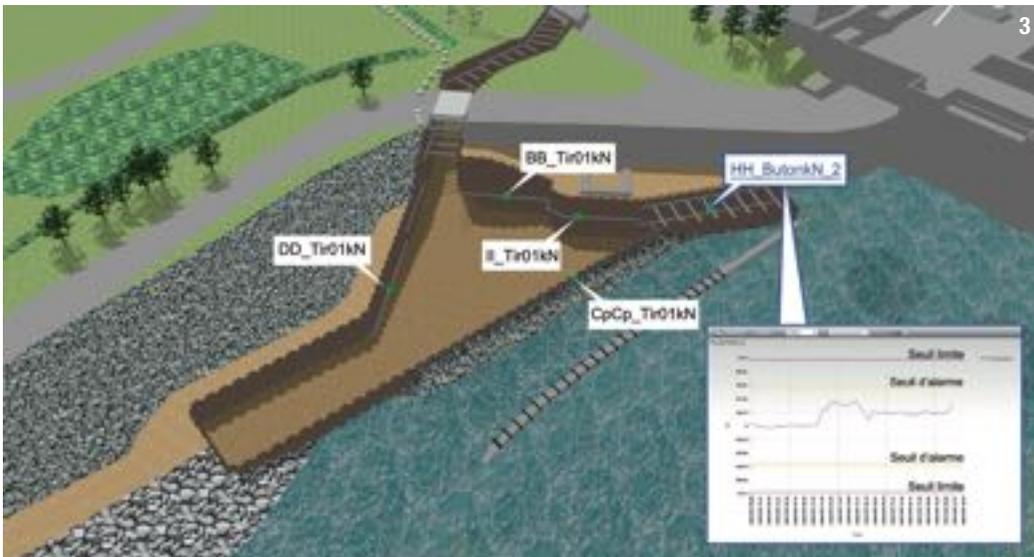
2

© PHOTO THÉQUE EMCC

2- Vue en plan générale de la passe à poissons.

3- Lecture des efforts des butons et tirants. Le graphique représente l'évolution des charges dans le buton « HH_ButonK_2 » avec en abscisses, le temps en jours et en ordonnées, les efforts en kN.

4- Lecture des déplacements du rideau principal. Le graphique représente l'évolution des déplacements d'un point du rideau de palplanches en fonction du temps avec, pour la cible « Cpcp01_15N », en abscisses le temps en jours et en ordonnées les déplacements en mm.

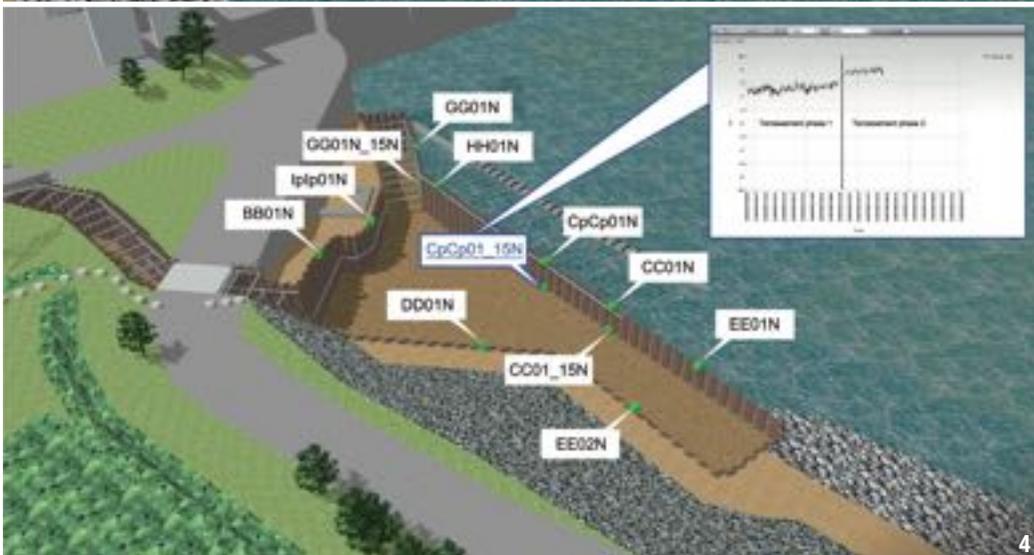


3

© PHOTO THÉQUE EMCC

2- General plan view of the fish pass.

3- Analysis of strut and tension member forces. The graph shows the loading in the "HH_ButonK_2" strut, with the time in days on the horizontal axis and forces in kN on the vertical axis.



4

© PHOTO THÉQUE EMCC

4- Analysis of displacements of the main curtain. The graph shows the displacements of a point on the sheet piling curtain versus time, with, for the "Cpcp01_15N" target, the time in days on the horizontal axis and displacements in mm on the vertical axis.



5



6



7

5- Prisme de lecture de déplacements.

6- Tirant équipé de sa cale dynamométrique.

7- Buton équipé d'extensomètres.

5- Displacement reading prism.

6- Tension member fitted with its dynamometer unit.

7- Strut fitted with strain gauges.

- L'aide à la mise en service et à l'exploitation,
- La ré-ingénierie au terme de leur durée de vie.

L'idée est d'intégrer aux objets 3D représentant des ouvrages ou parties d'ouvrage des informations essentielles comme les valeurs maximales des déplacements pour les rideaux de palplanches ou les performances mécaniques des tirants etc. Outre les données géométriques classiques, ces composants intelligents permettent de vérifier le dimensionnement en temps réel mais également de suivre la durabilité des structures en béton et en acier fortement sollicitées par un environnement souvent agressif (embruns, sols pollués etc.).

L'objet de cet article est de faire un point sur l'avancement de ces approches récentes.

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE ET LA MÉTHODE INTERACTIVE DE DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement des ouvrages en forte interaction avec le sol comme le sont les ouvrages maritimes et fluviaux comporte toujours une part d'incertitude relative à l'influence significative des paramètres de sol sur les valeurs des sollicitations.

Cette incertitude est inhérente au domaine de la géotechnique compte tenu des hétérogénéités spatiales, de l'anisotropie des sols, des limites des procédures d'essais, etc.

Malgré la qualité des investigations en vue de réduire les incertitudes, il n'est pas toujours possible de proposer un ouvrage optimum sans adopter un comportement conservatif.

C'est pourquoi le dimensionnement interactif, appelé également « méthode

observationnelle » dans l'Eurocode 7, constitue une démarche nouvelle permettant à l'entreprise d'offrir à son maître d'ouvrage une parfaite garantie sur la maîtrise des risques techniques. Cette méthode nécessite la mise en place d'un système d'auscultation dès le début de la construction.

L'ouvrage dessiné en 3D intègre, pour chaque étape de la construction, les valeurs limites d'efforts et/ou des déformations ainsi que les dispositions à prendre en cas d'approche ou de dépassements des seuils.

EXEMPLE DE LA PASSE À POISSONS DE SAUVETERRE

C'est par le biais d'un exemple concret que ce chapitre montre qu'au-delà de la représentation géométrique en 3D la maquette numérique permet d'interagir avec les données de l'auscultation pour

communiquer en temps réel auprès des acteurs directs de l'opération (entreprises, maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage, bureaux de contrôle, etc.).

Dans le cadre du volet de restauration de l'axe migrateur rhodanien par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR), Emcc réalise une passe à poissons à hauteur du barrage de Sauveterre situé au nord d'Avignon dans le département du Gard.

La passe à poissons est située sur la rive droite du barrage-usine de Sauveterre.

Le cheminement de la passe à poissons dont le tracé est représenté sur la figure 2 suit globalement celui de l'écran étanche réalisé au cours de la construction du barrage de Sauveterre dans les années 70.

La passe à poissons est découpée en trois parties :

- La zone aval, photographiée en juillet dernier (figure 1) pendant sa construction, correspondant à l'entrée de la passe et délimitée par le mur en aile aval (par rapport au barrage existant). Dans cette zone une mini-centrale hydraulique est également prévue ;
- La zone amont correspondant à la sortie de la passe en amont du barrage ;
- La section courante connectant les deux extrémités de la passe.

On ne s'intéressera qu'à la zone aval qui nécessite la construction d'un batardeau en palplanches dont les hauteurs libres peuvent atteindre 15 m. Les palplanches et leurs organes de maintien (tirants et butons) ont fait l'objet d'un pré-dimensionnement à partir des données géotechniques du dossier remis au stade de l'appel d'offre sous la forme d'une mission de projet de type G2.

Les calculs d'exécution réalisés à l'aide d'un logiciel classique d'interaction sol-structure à ressorts élasto-plastiques ont permis de définir une structure du rideau périphérique. Celle-ci est en partie constituée de palplanches PU28 simples. Elle associe localement à ces palplanches des tubes de renfort « racinés » afin d'ancrer le rideau dans le rocher lorsque celui-ci est proche du fond de fouille et ne permet pas le battage.

Outre le choix des éléments de structure, ce dimensionnement permet de connaître au droit de profils d'études judicieusement implantés, les déformations du rideau à chaque étape de terrassement ainsi que les efforts dans chaque tirant et chaque buton.

L'ensemble de ces données est récupéré et intégré au modèle 3D de la fouille. L'étude a porté sur l'instrumentation de 6 profils pour l'ensemble de la fouille, ces profils étant principalement représentatifs de l'hétérogénéité de la fouille en termes de hauteur de sol à soutenir. Ils ont été ainsi distribués sur le linéaire complet du rideau, soit 200 m environ. Les figures 3 et 4 matérialisent sur des vues 3D la position des points de mesure.

VALEUR DES SEUILS

Chaque profil est instrumenté sur place par 2 à 3 prismes de lecture de déplacements (figure 5). Les éléments présélectionnés sont ainsi équipés de cales dynamométriques pour les tirants comme la tête de tirant de la figure 6 et d'extensomètres pour les butons (figure 7).

Des valeurs de seuil sont définies pour chaque phase de calcul : un seuil d'alerte ou de vigilance correspondant à 80% de la valeur de calcul et un seuil limite correspondant à la valeur du calcul.

Ces données, figurant dans la maquette numérique à l'établissement du pré-dimensionnement sont ensuite comparées aux valeurs mesurées in situ.

TRAITEMENT DES ZONES PRÉSENTANT DES ANOMALIES

Dans l'hypothèse où les seuils sont atteints, il convient de procéder à une adaptation locale du rideau. Les préconisations de renforcement sont, elles-aussi, associées à la représentation 3D par profil et en corrélation avec l'avancement des travaux :

Par exemple, en cas d'atteinte du seuil et de non stabilisation, la fouille doit être remblayée sans délai dans la zone incriminée afin de stopper les déplacements.

le renforcement se fait obligatoirement, soit par l'ajout d'un lit de tirants intermédiaire dans les zones hors nappe de mêmes caractéristiques (diamètres et nuances d'acier) que ceux déjà prévus pour les coupes courantes, soit par l'ajout de tubes dans les creux de palplanches pour augmenter l'inertie du rideau, soit les deux si la situation l'impose. Dans tous les cas, la solution de reprise utilise les moyens humains, matériels et en matériaux immédiatement disponibles in situ.

Une fois le renforcement mis en œuvre, la reprise du terrassement peut se faire au rythme normal des lectures des déplacements.



8 & 9- Liquéfaction des sols en butée des rideaux de palplanches.

8 & 9- Liquefaction of soil against sheet piling curtains.

Pour l'exemple de Sauveterre, un défaut de butée des palplanches a été identifié à l'ouverture de la fouille lors de la réalisation des bassins de la passe à poissons.

Les photos 8 et 9 montrent l'état du sol en surface après la libération d'une poche d'eau pendant les terrassements.

L'incident a été identifié par le dispositif d'instrumentation et traité par la mise en place de cadres de butonnage supplémentaires (figure 10).

LA MISE EN SERVICE ET L'EXPLOITATION DES OUVRAGES

Cette disposition s'applique bien entendu aux ouvrages définitifs comme les quais en palplanches ou les parois verticales des passes à poissons à bassins successifs, comme c'est le cas à Sauveterre.

Dans la continuité du dimensionnement interactif des ouvrages, des valeurs seuils peuvent être définies par les calculs et intégrées à la maquette 3D en tenant compte des situations d'exploitation en termes de charges et de surcharges ainsi que des effets du vieillissement comme la corrosion des aciers ou le fluage du béton.

Des alarmes sont à la disposition de l'exploitant pour suivre la maintenance de ses ouvrages et lui permettre une intervention parfaitement ciblée.

LA RÉ-INGÉNIÉRIE DES OUVRAGES EN FIN DE VIE

En conditions opérationnelles, les structures maritimes et fluviales subissent l'effet d'actions d'origine environnementale, opérationnelle et humaine qui affectent leur performance. C'est pourquoi, ces ouvrages ont comme particularité une faible durée de vie,

souvent comprise entre 30 et 50 ans. Or, pour la plupart d'entre eux, bien que cette disposition soit justifiée par l'agressivité du milieu, ces ouvrages restent souvent encore largement exploitables mais la méconnaissance de leur état implique souvent un abandon direct de l'exploitation suivi d'un démantèlement.

Les nouvelles tendances de conception et de maintenance s'orientent vers le développement durable pour une réduction de l'impact environnemental et une diminution de la génération des déchets.

Pour la maintenance des ouvrages en béton armé en site maritime par exemple, connaître de manière continue la concentration des ions chlorure au niveau de l'enrobage permet de maîtriser l'initiation de la corrosion.

En effet, la corrosion des armatures induite par l'entrée des ions chlorure est



© PHOTO THÈQUE EMCC
10

un problème important pour les structures en béton armé qui sont situées dans des zones côtières. La perte de section des armatures, la réduction de l'adhérence acier-béton et la fissuration du béton sont les principaux mécanismes pour lesquels la corrosion affecte la performance des structures. La figure 11 montre les aciers d'une poutre de la sous-face d'un tablier de quai mis à nu par hydro-démolition. Les enjeux sont particulièrement aigus en zone de marnage où se concentrent une grande partie des poutres en béton armé pour les quais sur pieux par exemple où les difficultés d'inspection sont avérées.

10- Traitement par butonnage.

11- Reconditionnement d'une poutre de sous-face de tablier sur pieu (quai ouvert) attaquée par les chlorures.

10- Treatment by staying.

11- Reconditioning of a pile-mounted deck soffit beam (open dock) attacked by chlorides.



11

L'objectif de la maquette numérique serait alors de collecter, en plus des données classiques de contraintes et de déformation, un état de la corrosion des armatures de béton armé afin de suivre en temps réel le vieillissement de la structure. À la fin de la durée de vie théorique de l'ouvrage, un état des lieux peut être établi instantanément et une nouvelle destination de l'ouvrage proposée à un nouvel exploitant grâce à une ré-ingénierie exhaustive à partir d'une connaissance satisfaisante de la structure et de nouvelles hypothèses fiables.

CONCLUSION

La maquette numérique appliquée aux ouvrages maritimes et fluviaux est un axe de développement majeur pour Emcc avec des perspectives multiples pour l'entreprise et ses donneurs d'ordre au travers :

- Du dimensionnement interactif des ouvrages pendant la construction,
- D'une aide à la mise en service et à l'exploitation,
- De la ré-ingénierie des ouvrages au terme de leur durée de vie.

Grâce aux données de calculs et d'instrumentation, l'entreprise possède un vrai retour d'expérience sur le comportement de ses structures en interaction permanente avec le sol et l'eau, aussi bien en phase travaux qu'à long terme.

Ces données alimentent la maquette numérique.

Elles sont essentielles pour optimiser l'ingénierie et la ré-ingénierie des ouvrages car elles sont la base de tout dimensionnement.

Pour l'exploitant, la connaissance de l'état de son ouvrage et de sa résistance à tout instant de sa vie constitue une vraie plus-value dans le cadre de sa maintenance.

Les perspectives de développement de la maquette numérique sont multiples afin de respecter les exigences de la construction d'aujourd'hui : une construction durable devant considérer dans sa conception toutes les étapes successives suivantes : construction, maintenance, réparation, réhabilitation, remplacement et élimination en fin de vie. □

ABSTRACT

SMART BUILDINGS THANKS TO COMPUTER MODELLING (BIM)

MATTHIEU DORÉ, EMCC - FRÉDÉRIC AURY, EMCC

In offshore and river works where there are far fewer trades that on a building project, BIM is set to develop in technical applications such as interactive sizing, follow-up, maintenance and re-engineering of structures at end of life. By incorporating in 3D drawings structural aspects such as the resistance of tension members and struts, or the maximum deformation of the sheet piling curtain, and by linking this data to instrumentation of the structure, sizing becomes interactive. The example of interactive sizing applied by Emcc on the fish pass project at Sauveterre near Avignon is a preliminary application of computer modelling along these lines. □

OBRAS INTELIGENTES GRACIAS A LA MAQUETA DIGITAL (BIM)

MATTHIEU DORÉ, EMCC - FRÉDÉRIC AURY, EMCC

En las obras marítimas o fluviales, en las que intervienen muchas menos especialidades que en la construcción de edificios, el BIM encuentra su desarrollo en aplicaciones técnicas como el dimensionamiento interactivo, el seguimiento, el mantenimiento y la reingeniería de las construcciones al término de su vida útil. Integrando en el dibujo 3D dimensiones estructurales como la resistencia de los tirantes y codales, las deformaciones límite de la pantalla de tablaestacas, y combinando estos datos con una instrumentación de la obra, el dimensionamiento se convierte en interactivo. El ejemplo del dimensionamiento interactivo aplicado por Emcc en la obra de la escala de peces de Sauveterre, cerca de Aviñón, constituye un esbozo de la aplicación de la maqueta digital en este sentido. □



1

© J-Y GOVIN-SOREL/FRANK GEHRY/LOUIS VUITTON PHOTOOTHÈQUE VINCI ET FILIALES

BIM À L'EXPORT : DE L'EXPÉRIMENTATION À L'INTÉGRATION DE LA MAINTENANCE

AUTEURS : PASCALE COMMUN, DIRECTEUR (DIRECTION DES SYSTÈMES D'INFORMATION TECHNIQUE DIRECTION INGÉNIERIE ET MOYENS TECHNIQUES), VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - ÉRIC TAILLARDAT, INGÉNIEUR EN CHEF RESPONSABLE DE LA CELLULE DE MODÉLISATION (DIRECTION CONCEPTION ET ÉTUDES DE STRUCTURES / DIRECTION INGÉNIERIE ET MOYENS TECHNIQUES), VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

LES GRANDS PROJETS ENTREPRIS EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL AVEC UN DEGRÉ D'EXIGENCE DE PLUS EN PLUS ÉLEVÉ ONT PERMIS À VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS DE PRENDRE TRÈS TÔT CONSCIENCE DES ENJEUX QUE REPRÉSENTE LE BIM ET DE SE METTRE EN ORDRE DE MARCHÉ, DEPUIS PLUSIEURS ANNÉES, POUR DÉPLOYER LA DÉMARCHE BIM SUR SES PROJETS. LA GRANDE VARIÉTÉ DES PROJETS RÉALISÉS ET LA RICHESSE DE SES RETOURS D'EXPÉRIENCE PERMETTENT À VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS D'AMÉLIORER SES PROCESSUS EN CONTINU. LE PROJET DE LA FONDATION LOUIS VUITTON À PARIS ET CEUX DES AÉROPORTS DU CAMBODGE EN SONT DE BONS EXEMPLES.

Avant rapidement pris la mesure de l'intérêt d'une telle démarche, Vinci Construction Grands Projets utilise systématiquement le BIM pour ses très grands contrats à l'international depuis 2012. Bâtissant sa stratégie de développement du BIM sur l'application, à ses projets, de processus définis et mis en œuvre concrètement par son équipe BIM intégrée, puis consolidés par ses différents retours d'expérience, Vinci Construction Grands Projets n'a pas hésité à encourager très tôt ses partenaires, qu'ils soient designers ou bien entreprises sous-traitantes, à s'engager dans ce processus.

AÉROPORTS DE DOUCHANBÉ, PHNOM PENH, SIEM REAP ET SANTIAGO

C'est au Tadjikistan, avec le projet de l'aéroport de Douchanbé, que Vinci Construction Grands Projets fait ses premières armes dans le BIM aéroportuaire. L'équipe BIM réalise alors la maquette BIM tous corps d'état du terminal aéroportuaire, sur la base des études 2D développées par ses designers, avec, au-delà des fonctionnalités de base du BIM (*design review*, *clash detection*, 4D, etc.), pour objectif principal d'affiner certains sujets techniques complexes, notamment ceux liés à l'insertion des systèmes aéroportuaires

1- La Fondation Louis Vuitton à sa livraison.

1- The Louis Vuitton Foundation at delivery.

grâce à l'extraction de visuels et de simulations en temps réel. Fort de cette première expérience, réalisée à la grande satisfaction de son client, Vinci Construction Grands Projets s'engage alors vers des démar-

ches plus ambitieuses comme celles déployées sur les projets des aéroports de Phnom Penh et Siem Reap au Cambodge où, cette fois-ci, les fonctionnalités avancées des modèles BIM ont pu être pleinement exploitées.

En effet, mener à bien ces deux projets d'extension et de réhabilitation de terminaux aéroportuaires en site occupé imposait le respect de contraintes variées :

- Maintien en exploitation des aéroports existants sans gêne majeure pour les exploitants et les passagers ;
- Disparité de l'expérience BIM des différents designers ;



2a, 2b & 2c- Aéroports du Cambodge - Phasage préliminaire des travaux (3 vignettes avec indication des mois).

3- Aéroports du Cambodge - Concept Design - Montage de la maquette BIM ARC sur la base des plans 2D.

2a, 2b & 2c- Aéroports du Cambodge - Preliminary work sequencing (3 vignettes with indication of the months).

3- Cambodia Airports - Concept Design - Assembly of the ARC BIM model on the basis of 2D drawings.

→ Répartition à travers le monde des différents intervenants (France, Cambodge, Vietnam, Hong-Kong, Malaisie).

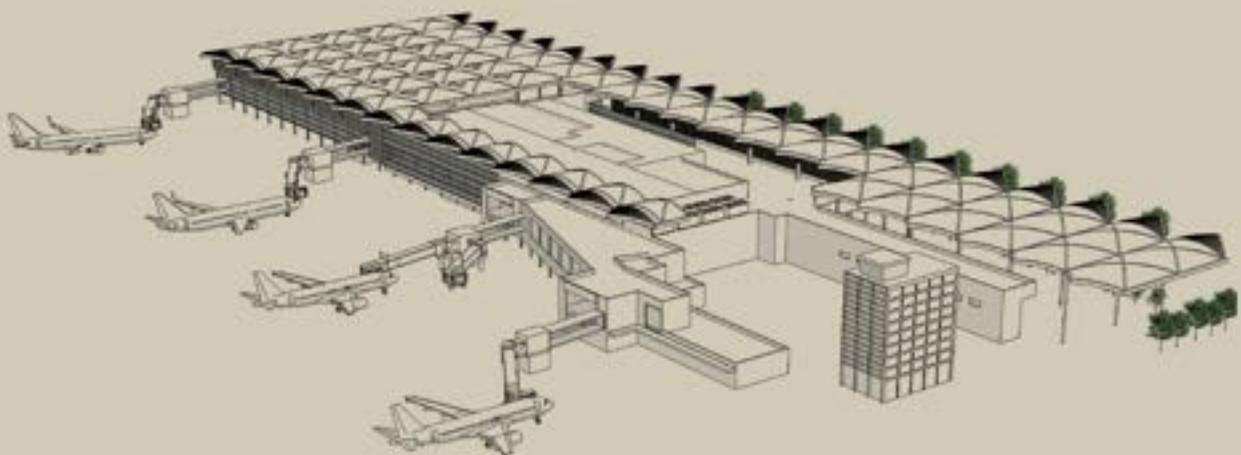
Tout d'abord, pour répondre au challenge que représente le phasage des travaux dans un aéroport existant, la toute première intervention BIM a consisté en la création d'une maquette numérique pour étudier, puis figer, le phasage des travaux garantissant la continuité d'exploitation des terminaux

aéroportuaires (figures 2a, 2b et 2c). Pour ce faire, et alors que les études rentraient tout juste dans le processus BIM, les bâtiments ont été sommairement modélisés sous Revit, un planning de macro-tâches a été établi sous MS-Project et le liaisonnement de ces deux fichiers a été réalisé sous Navisworks. Grâce à ce processus, une animation représentant une simulation générale de la réalisation des travaux et des « arrêts-zooms » à chaque étape ont

été réalisés pour permettre de montrer en 3D (visuels 3D, films et temps réel) aux exploitants les configurations successives de l'environnement dans lequel ils seraient amenés à évoluer. Dans cette phase amont du projet, le BIM a été un outil puissant d'aide à la décision pour le concédant, le concessionnaire et le concepteur constructeur.

En parallèle, le BIM n'étant pas, à cette époque, aussi courant qu'il l'est aujourd'hui, il a fallu s'organiser pour s'adapter à l'inégalité des designers dans leur capacité à travailler en BIM. Ainsi, pour la phase de *Concept Design* de Phnom Penh (le plus urgent), la maquette BIM a été montée à partir des études faites en 2D (figure 3), sauf pour les études de structure qui, elles, ont été réalisées en totalité en BIM dès le démarrage du projet. De son côté, le projet de Siem-Reap a totalement été réalisé en BIM. Ces deux chemins, bien que différents, ont permis d'avoir une maquette BIM des deux terminaux qui ont ensuite été développées jusqu'à la phase *As-built*. ▷

AÉROPORTS DU CAMBODGE - CONCEPT DESIGN - MONTAGE DE LA MAQUETTE BIM ARC SUR LA BASE DES PLANS 2D



Vinci Construction Grands Projets, toujours à l'écoute des futurs utilisateurs de l'ouvrage qui sera livré, s'est attaché à ce que les fonctionnalités du BIM puissent servir leurs besoins. Ainsi, sur ces 2 projets, au-delà des fonctionnalités habituelles du BIM, le *design review* (figure 4) et les *clash-detections* (figure 5), Vinci Construction Grands Projets s'est engagé sur la production de :

- Simulations 4D de la conception structurelle et du clos et couvert (figures 6 et 7) afin de sécuriser les interfaces entre l'existant et les travaux ;
- Rendus visuels (perspectives 2D, film et temps réel - figures 8 et 9) pour faciliter la communication avec les exploitants et les services publics (tout particulièrement les douanes) ;
- Modèle BIM *As-built* afin de permettre à l'exploitant de récupérer/d'extraire ultérieurement les informations de la base de données BIM (figure 10) qui lui sont nécessaires pour les échanges avec les outils qu'il utilise pour le *Facility Management*.

Tous ces développements ont nécessité, d'une part, la mise en place de moyens humains importants, le déploiement de nouveaux processus garantissant le travail harmonieux de toutes les parties et, d'autre part, pour tenir compte de la diversité des localisations géographiques des acteurs de ce projet, la création d'une infrastructure informatique spécifique avec des serveurs dédiés hébergés en data-room, la mise en place de GED (Gestion électronique de documents) et PDM (Project Data Management).

Grâce à la structure BIM interne déjà mise en place, Vinci Construction Grands Projets était parfaitement en capacité de prendre en charge toute



4

© PHOTO THÉQUE VINCI ET FILIALES

4- Aéroports du Cambodge - Design review.

5- Aéroports du Cambodge - Clash detection.

6- Aéroports du Cambodge - Simulations 4D de détail, structure.

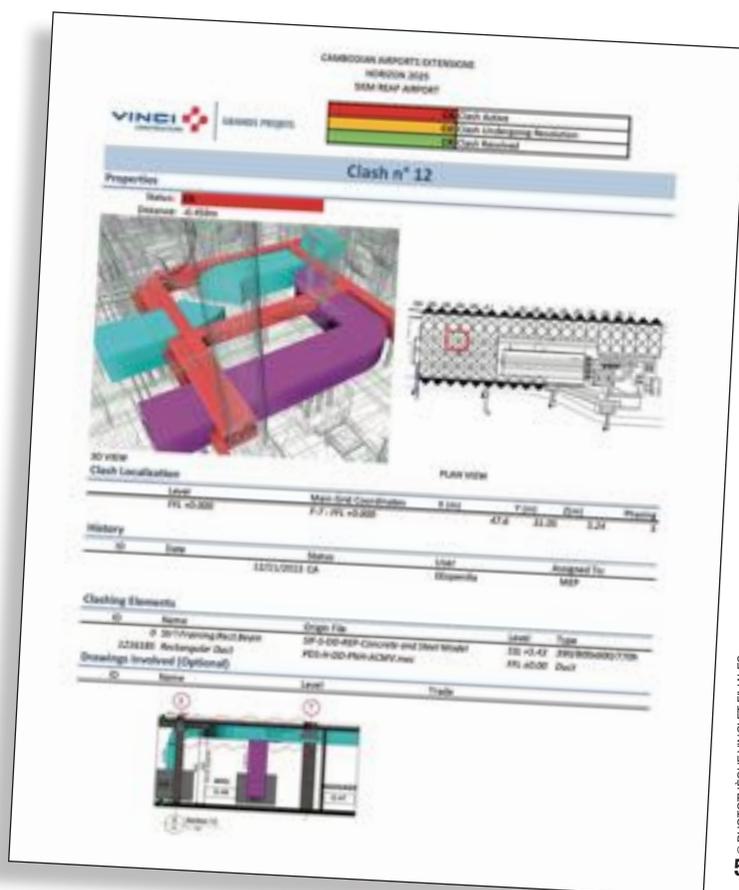
7- Aéroports du Cambodge - Simulations 4D de détail, clos et couvert.

4- Cambodia Airports - Design Review.

5- Cambodia Airports - Clash Detection.

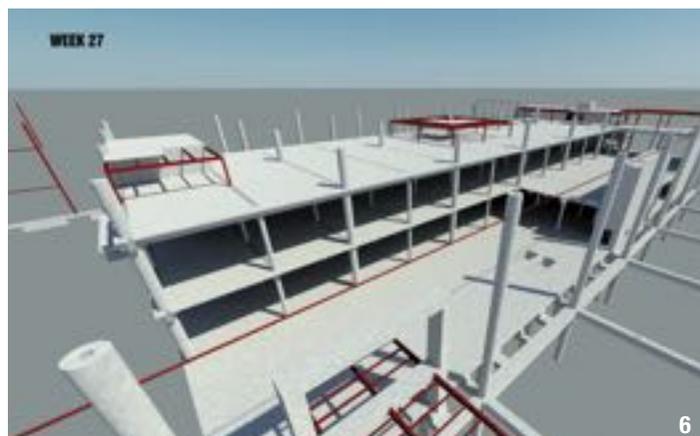
6- Cambodia Airports - Detailed 4D simulations, structure.

7- Cambodia Airports - Detailed 4D simulations, fencing and roofing.

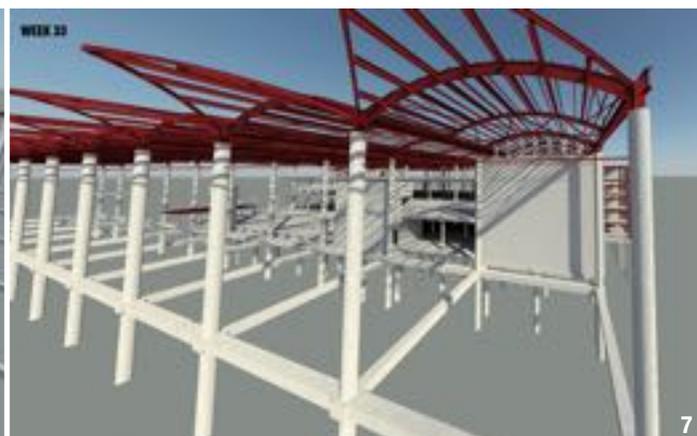


5

© PHOTO THÉQUE VINCI ET FILIALES



6



7



© PHOTO THÉQUE VINCI ET FILIALES

8

9

© PHOTO THÉQUE VINCI ET FILIALES

10

8 & 9- Aéroports du Cambodge - Rendus visuels.
10- Aéroports du Cambodge - As-built/base de données vers le Facility Management.

8 & 9- Cambodia Airports - Visual renderings.
10- Cambodia Airports - As-built/data-base for Facility Management.

cette organisation et de piloter les différents intervenants pour que le projet, réalisé en BIM, se déroule de façon fluide et que la puissance de cette démarche soit mise à profit. C'est donc dans la continuité de cette collaboration réussie avec Vinci Airports sur les aéroports du Tadjikistan et du Cambodge, que Vinci Construction Grands Projets aborde, en 2015, un de ses nouveaux défis : l'aéroport de Santiago au Chili. Aux nombreux facteurs de complexité traditionnelle du métier de la construc-

tion (contexte international, diversité des acteurs, taille, technicité, délais, etc.) que ce projet réunit déjà, s'ajoute celui de réaliser un modèle BIM exceptionnel puisqu'il doit s'intégrer dans un "BIM-System" où les outils d'exploitation et de maintenance sont liés à la maquette numérique (ce qui correspond au plus haut niveau du BS-1192, nommé "maturity level 3"). Vinci Construction Grands Projets se doit donc de mettre en œuvre une démarche et des moyens adaptés. Pour ce projet emblématique, Vinci

Construction Grands Projets a pris le parti de mettre en place un plateau de travail dédié, installé dans un premier temps à Rueil-Malmaison avant de basculer au Chili. Ainsi, tous les designers, réunis en un même lieu, peuvent se rôder à toutes les facettes techniques liées à l'utilisation intense du BIM, consécutives à un planning contraint. La mise en place de GED (Gestion électronique de documents) et PDM (Project Data Management) sophistiqués, organisés sur des serveurs déportés, permet à

tous de travailler, dès à présent, de façon collaborative et d'anticiper au mieux le déplacement du barycentre des équipes de conception de la France au Chili qui aura lieu à l'automne 2015. Grâce à la structuration de sa démarche qui lui a permis une montée en puissance progressive pour la réalisation de projets BIM, Vinci Construction Grands Projets peut désormais s'engager sur les voies novatrices du BIM et de ses fonctionnalités encore peu exploitées au service du modèle intégré Vinci : Concessionnaire, Concepteur, Constructeur. ▷

PHNOM PENH PRINCIPAUX INTERVENANTS

PROJET : aéroport de Phnom Penh, Cambodge
MAÎTRISE D'OUVRAGE : Sca (Vinci Airports 70%, Muhibbah 30%)
ARCHITECTE : Hamilton
MAÎTRISE D'ŒUVRE : groupement piloté par Vinci Construction Grands Projets comprenant Muhibbah Engineering Bhd
ENTREPRISE GÉNÉRALE : groupement piloté par Vinci Construction Grands Projets comprenant Muhibbah Engineering Bhd

PHNOM PENH CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

Le contrat prévoit 28 mois de travaux et porte sur l'extension et la rénovation du terminal de l'aéroport de Phnom Penh :

- Terminal neuf 16 000 m²
- Rénovation 13 000 m²
- Bâtiments annexes
- Nouveau tri à bagages

APPLICATION MÉTIER : UTILISATION DE LA MAQUETTE BIM DANS LE CADRE DES ÉTUDES STRUCTURELLES D'EXÉCUTION DE LA FONDATION LOUIS VUITTON

MISSIONS VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - DIRECTION CONCEPTION ET ÉTUDES DE STRUCTURES

Au début de l'année 2009, le client a confié au bureau d'études de Vinci Construction Grands Projets deux missions :

- La conception et la réalisation des plans et notes d'exécution des infrastructures béton ;
- Le rôle d'ensemblier structurel concernant l'ensemble des calculs d'exécution des 8 lots structurels, confiés à des Bureaux d'Études utilisant des outils-logiciels métiers différents (tableau 1).

Nous avons dû faire face à un bâtiment relativement souple et à la géométrie complexe où chaque lot ne peut ignorer les autres (conformément à l'esprit de l'esquisse figure 11). Les 3 500 interfaces ou points de contact entre des éléments de deux lots différents les rendaient interdépendants.

En tant que responsable des calculs de structures, la Direction Conception et Études de Structures a mis en place un modèle global intégrant l'ensemble des modèles locaux générés par les différents lots. Ce modèle reposait sur deux outils interconnectés :

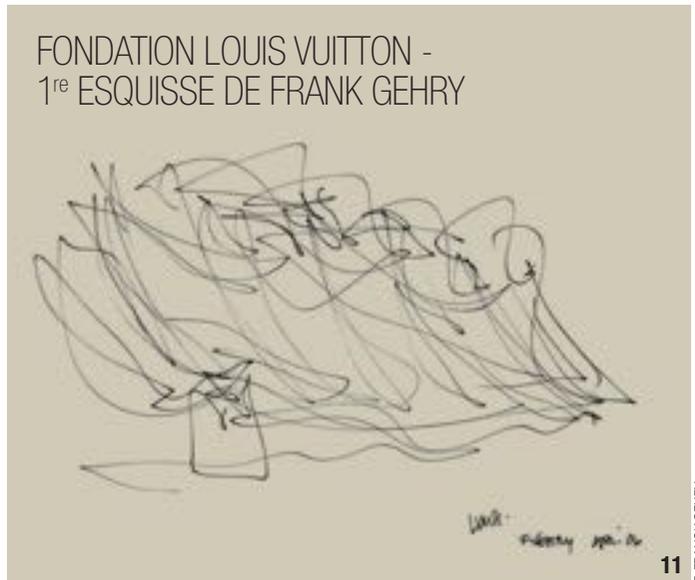
1- Une maquette de travail collaboratif 3D (BIM) entre les équipes d'exécution et les équipes d'études de structures

Afin de prendre en compte toutes les spécificités liées aux calculs structuraux, une maquette structurelle dédiée (figures 12a et 12b) a été réalisée, calquée sur la maquette d'exécution développée par l'architecte et les équipes de la maîtrise d'œuvre, puis finalisée en exécution par les sous-traitants en coordination avec la cellule de synthèse.

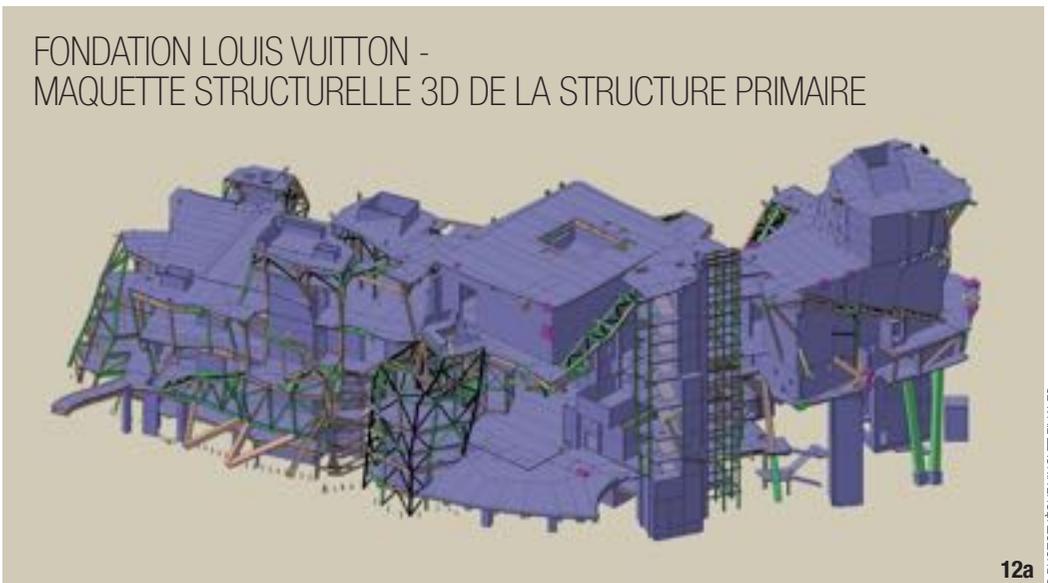
La maquette structurelle intégrait l'ensemble des données de calcul de l'ouvrage dans un format graphique unique : la géométrie et les caractéristiques mécaniques de tous les éléments structuraux tels les dalles, voiles, poutres et poteaux, les liaisons internes, les interfaces, les charges et les conditions aux limites, etc., en résumé toutes les données nécessaires pour produire des calculs structuraux aux éléments finis. La labellisation ou étiquetage de chaque entité structurelle a permis

11- Fondation Louis Vuitton - 1^{re} esquisse de Frank Gehry. 12a & 12b- Fondation Louis Vuitton - Maquette structurelle 3D de la structure primaire.

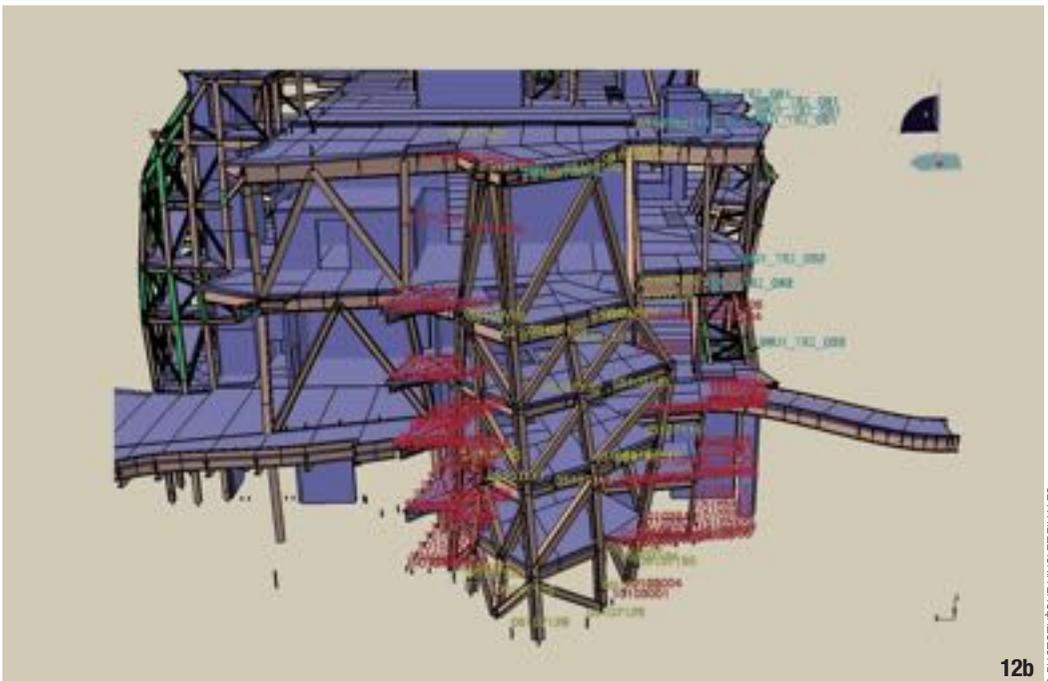
11- Louis Vuitton Foundation - First sketch by Frank Gehry. 12a & 12b- Louis Vuitton Foundation - 3D structural model of the primary structure.



11 © FRANK GEHRY



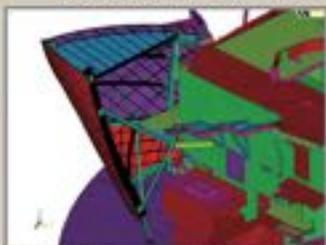
12a © PHOTO THÈQUE VINCI ET FILIALES



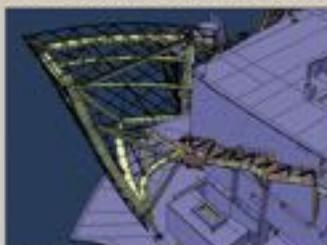
12b © PHOTO THÈQUE VINCI ET FILIALES

FONDATION LOUIS VUITTON - COHÉRENCE MAQUETTE STRUCTURELLE 3D ET MAQUETTE D'EXÉCUTION 3D (VERRIÈRE ET INTERFACE ICEBERG)

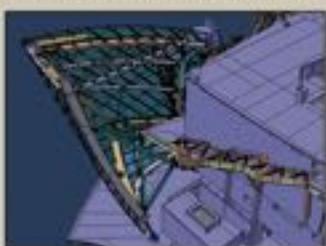
Contrôle de cohérence : Géométrie Modèles locaux / Structures as-built



A. Modèle local Ansys accroché au modèle global



B. Modèle local natif remonté dans la Maquette Structurelle 3D



C. Maquette d'Exécution 3D

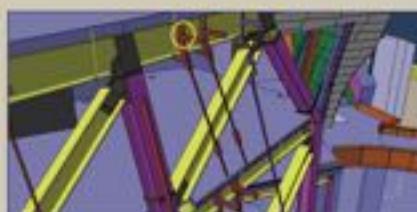


D. Contrôle de cohérence : Structures calcul / as-built

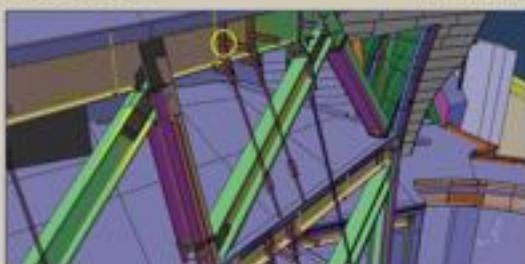
13a



Modèle Structurel 3D



Modèle Exécution 3D



Contrôle de cohérence entre structures calculées et as-built

13b

13a & 13b-
Fondation Louis
Vuitton - Cohé-
rence maquette
structurelle 3D
et maquette
d'exécution 3D
(verrière et inter-
face iceberg).

13a & 13b-
Louis Vuitton
Foundation -
Consistency of
3D structural
model and 3D
execution model
(glass roof and
iceberg inter-
face).

de définir un langage commun à tous les acteurs du projet pour faciliter et sécuriser les échanges de données d'entrées et de résultats de calcul.

Cette maquette structurelle a permis d'effectuer, la coordination des structures entre les bureaux d'études, d'une part, et la vérification de la cohérence des modélisations structurelles avec les structures telles que représentées dans la maquette d'exécution de la direction de projet, d'autre part (figures 13a et 13b).

2- Un logiciel de calcul (Ansys) garant de la cohérence de l'ensemble

L'ensemble des modèles locaux des sous-traitants et le contenu de la maquette structurelle ont été transférés dans l'outil de calcul Ansys, assurant la transcription conforme de toutes les données dans un langage éléments finis (figures 14a et 14b).

Le lien direct entre la maquette structurelle et le modèle de calcul nous a permis de gagner en réactivité dans le cas où apparaissaient de nouvelles exigences architecturales ou d'exécution.

TABEAU 1 :

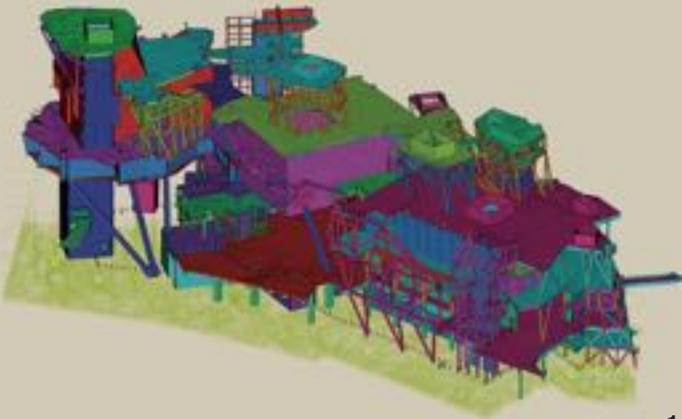
| Lot structurel | Entité responsable | Outils-logiciels calculs |
|------------------------|--|---------------------------------|
| Structures béton | Vinci Construction Grands Projets - SIDF | Ansys, Sofistik, Hercule, Robot |
| Charpentes métalliques | Hofmeister - Civil Engineering Network | Ansys, Straus |
| Icebergs compacts | Hofmeister - Civil Engineering Network | Ansys, Straus |
| Icebergs déportés | Hofmeister - lemants | Scia Engineering |
| Enveloppes Vitrées | Sipral | Nastran |
| Escaliers métalliques | lemants | Scia Engineering |
| Verrières | Eiffage - Greisch | Finelg |

MISSION COMPLÉMENTAIRE : LA RÉALISATION DU DOE STRUCTUREL (FACILITY MANAGEMENT)

Peu de temps avant la livraison de l'ouvrage et en complément du DOE, plans et notes de calcul composant le Dossier des Ouvrages Exécutés dû par l'entreprise générale, le maître de l'ouvrage nous a formulé une demande singulière, inédite, complexe : la réalisation d'un « DOE Structurel » qui devait répondre aux exigences suivantes :

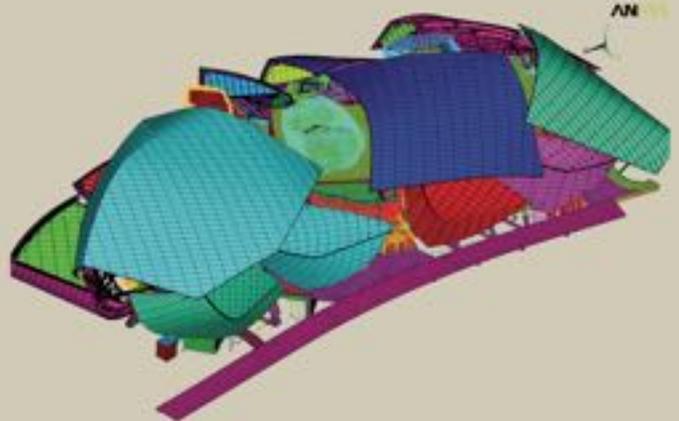
→ S'affranchir de tous les systèmes d'exploitation et des outils logiciels du commerce, passés, présents ou à venir, y compris ceux utilisés par les Bureaux d'Études sous-traitants ▷

FONDATION LOUIS VUITTON - MODÈLE GLOBAL DE CALCULS AUX ÉLÉMENTS FINIS
(8.000.000 DDL, 120.000 CAS DE CHARGES)



14a

© PHOTOTHÈQUE VINCI ET FILIALES



14b

© PHOTOTHÈQUE VINCI ET FILIALES

14a & 14b-
Fondation Louis Vuitton - Modèle global de calculs aux éléments finis (8.000.000 ddl, 120.000 cas de charges).

15- Fondation Louis Vuitton - Organisation et dépendance des briques structurales du langage universel.

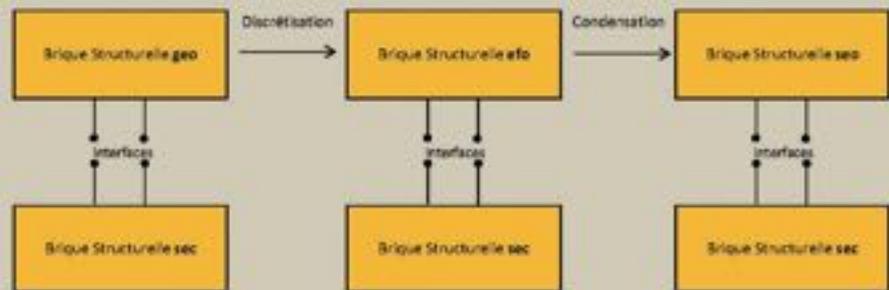
16a & 16b- Remontée du modèle global sur un outil- logiciel tiers par relecture du DOE Structurel.

14a & 14b-
Louis Vuitton Foundation - Overall finite-element calculation model (8,000,000 dd's, 120,000 load cases).

15- Louis Vuitton Foundation - Raising the overall model on a third-party software tool by rereading the as-built structural file.

16a & 16b- Raising the overall model on a third-party software tool by rereading the as-built structural file.

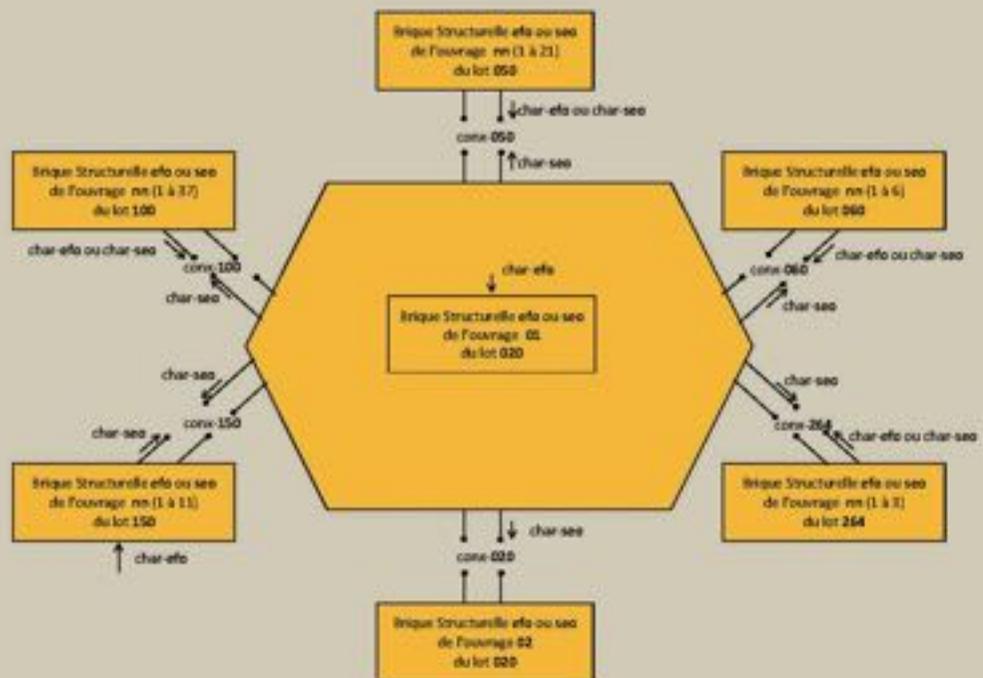
FONDATION LOUIS VUITTON - ORGANISATION ET DÉPENDANCE DES BRIQUES STRUCTURELLES DU LANGAGE UNIVERSEL



15

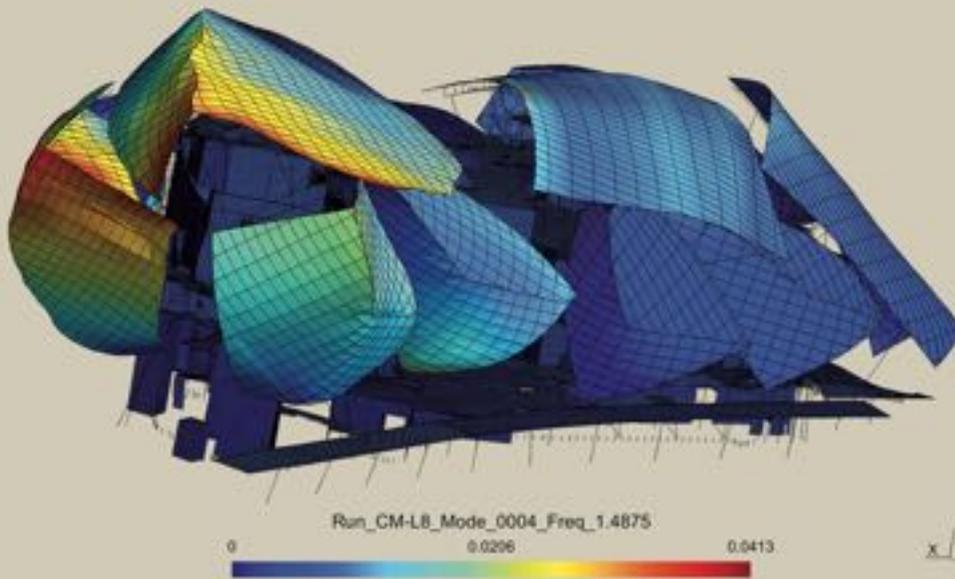
© PHOTOTHÈQUE VINCI ET FILIALES

REMONTÉE DU MODÈLE GLOBAL SUR UN OUTIL-LOGICIEL TIERS PAR RELECTURE DU DOE STRUCTUREL



16a

© PHOTOTHÈQUE VINCI ET FILIALES



16b

intervenues sur l'opération dans les phases de conception et d'exécution ;

- Être transmis aux générations futures dans un format pérenne et cohérent ;
- Permettre, au cours des décennies pendant lesquelles l'ouvrage sera exploité, à une Ingénierie qui ne connaît pas le projet, de remonter tout ou partie du modèle global de calcul structurel selon les besoins du maître de l'ouvrage (modification des règlements, adaptation structurelle du bâtiment, etc.) avec

les outils informatiques disponibles à ce moment-là.

Toutes les données structurelles du projet contenues dans les modèles de calculs globaux et locaux, dans la maquette structurelle y compris les principaux résultats de calcul ont été transférés dans un langage universel au format texte sous la forme d'une centaine de commandes, chacune répondant à un ou plusieurs besoins spécifiques.

Pour conserver l'organisation du projet, son découpage en lots structurels et en sous-ouvrages et pour préserver

le travail de synthèse technique, architecturale et structurelle des études d'exécution, a été conçue, développée et formalisée dans ce langage universel la notion de briques structurelles reliées par des points d'interface. Chaque sous-ouvrage peut être décrit dans des « briques structurelles » de quatre formes différentes et dépendantes entre elles :

- La brique **geo** définissant les caractéristiques géométriques et mécaniques ;
- La brique **efo** définissant les éléments finis ;

→ La brique **seo** définissant la matrice de raideur condensée sur ses nœuds d'interfaces ;

→ La brique **sec** définissant la matrice de raideur de l'ouvrage complémentaire.

La modularité du processus (figure 15) permet, par relecture des fichiers décrivant les briques structurelles, de procéder facilement à une étude locale, semi-globale ou globale de l'ouvrage selon les besoins. Le maître de l'ouvrage a d'ailleurs validé le processus en confiant à une Ingénierie la réalisation d'un cas test sur une verrière du projet. Dans sa version complète (figures 16a et 16b), le remontage du modèle global de la Fondation Louis Vuitton par relecture et transcription sur un outil logiciel tiers des briques structurelles décrivant les structures béton, la charpente métallique, les 21 icebergs, les 37 enveloppes vitrées, les 9 escaliers et les 12 verrières ainsi que la restitution des résultats de l'analyse modale a été réalisé en quelques semaines seulement. □

Nota : La méthodologie et le langage universel ont fait l'objet d'un dépôt de brevet à l'INPI.

FONDATION LOUIS VUITTON PRINCIPAUX INTERVENANTS

PROJET : Fondation Louis Vuitton

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Fondation d'entreprise Louis Vuitton

ASSISTANCE TECHNIQUE À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Quadrature ingénierie

ARCHITECTE : Frank Gehry

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Setec Bâtiment, Studio Architecture, Rfr, T/E/S/S

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Vinci Construction France (Entreprise Petit mandataire d'un groupement comportant Dodin Campenon Bernard)

FONDATION LOUIS VUITTON CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

- 12 verrières composées de 860 m³ de poutres lamellées collées, 13 230 m² de vitrage et 555 t de structure tertiaire en inox
- 21 icebergs composés de 9 000 m² de panneaux Ductal®
- 47 ensembles d'enveloppes vitrées totalisant 4 800 m² et 400 t d'ossature acier
- Lot génie civil composé de 24 500 m³ de béton (dont un radier de 2,60 m d'épaisseur) et d'une charpente métallique de 1 800 t de structures tridimensionnelles et de 700 t de structures horizontales et planchers
- La synthèse technique et architecturale est assurée par une cellule BIM (Maquette Digital Project)

ABSTRACT

BIM IN EXPORT MARKETS: FROM EXPERIMENTING TO INTEGRATION OF MAINTENANCE

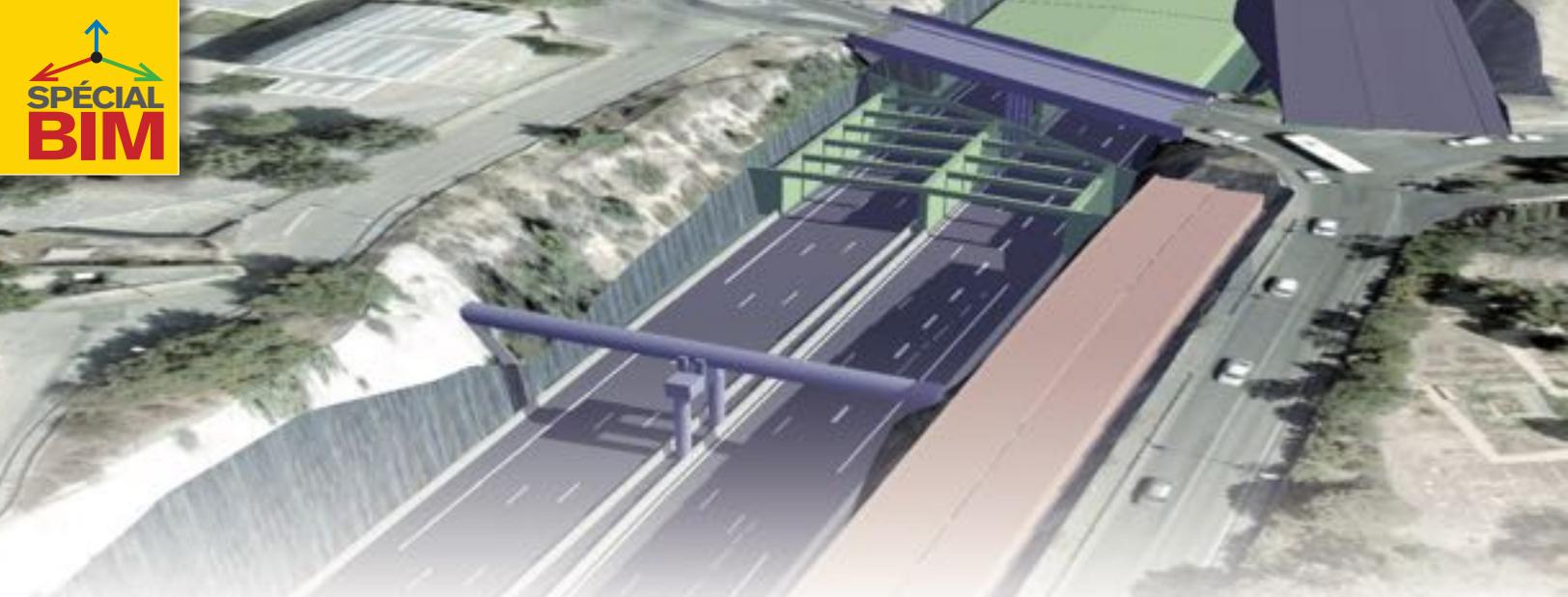
PASCALE COMMUN, VINCI - ÉRIC TAILLARDAT, VINCI

Since 2012, Vinci Construction Grands Projets has systematically deployed BIM for its contracts in international markets and major projects in France. Capitalising on its expertise, notably on iconic buildings (Louis Vuitton Foundation) and in the airport sector (three airport projects in Asia) where the advanced functionalities of BIM models have been fully exploited, in 2015 Vinci Construction Grands Projets is taking on a new challenge with Santiago airport in Chile: implementing an exceptional BIM model in which the operating and maintenance tools are linked to the computer model ("maturity level 3" according to BS-1192). □

EXPORTACIÓN DEL BIM: DE LA EXPERIMENTACIÓN A LA INTEGRACIÓN DEL MANTENIMIENTO

PASCALE COMMUN, VINCI - ÉRIC TAILLARDAT, VINCI

Desde 2012, Vinci Construction Grands Projets implementa sistemáticamente el BIM en sus contratos internacionales y en los grandes proyectos en Francia. Sobre la base de su experiencia, en especial en edificios icónicos (Fundación Louis Vuitton) y en el ámbito aeroportuario (tres proyectos de aeropuerto en Asia), donde ha sacado el máximo partido de las funciones avanzadas de los modelos BIM, en 2015 Vinci Construction Grands Projets ha asumido un nuevo reto: el aeropuerto de Santiago, en Chile, donde cuenta realizar un modelo BIM excepcional en el que las herramientas operativas y de mantenimiento estarán vinculadas a la maqueta digital ("maturity level 3", según la BS-1192). □



LA MAQUETTE NUMÉRIQUE DU PROJET D'INFRASTRUCTURE DE LA ROCADE L2 À MARSEILLE

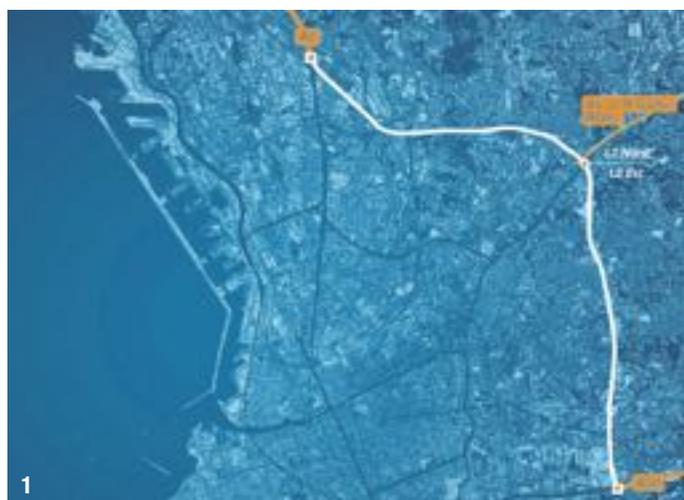
AUTEURS : PIERRE BENNING, DIRECTEUR ADJOINT INFORMATIQUE TECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - CHRISTOPHE CASTAING, DIRECTEUR BIM-BY-EGIS, EGIS INTERNATIONAL

LA ROCADE L2 À MARSEILLE EST UNE EXPÉRIMENTATION À GRANDEUR RÉELLE DES APPORTS DU BIM DANS LE SECTEUR DES INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES. AU-DELÀ DES PROBLÈMES TECHNIQUES D'INTEROPÉRABILITÉ ENTRE LES LOGICIELS UTILISÉS, CE SONT SURTOUT LES PROCESSUS PARTAGÉS ET LES ASPECTS CONTRACTUELS LIANT LES ACTEURS QUI DOIVENT ÊTRE AMÉLIORÉS, AFIN DE FLUIDIFIER LE PARTAGE DES DONNÉES ET L'INTÉGRATION DANS UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE COMMUNE. CE PROJET EST DEvenu UNE DES MEILLEURES RÉFÉRENCES EN LA MATIÈRE, PORTÉE PAR UNE DIRECTION DE PROJET CONFIANTE ET UNE ÉQUIPE DE BIM MANAGEMENT ENTHOUSIASTE.

INTRODUCTION

L'autoroute A507 à Marseille, appelée Rocade L2, est un partenariat public privé attribué à un groupement piloté par Bouygues Construction. Ce groupement est composé, côté constructeur, des sociétés Bouygues Travaux Publics, DTP, Colas, Spie Batignolles, et, côté ingénierie, des sociétés du groupe Egis et de nombreux bureaux d'études. Cette rocade périphérique est une infrastructure urbaine sans péage de près de 11 km de long qui reliera l'A7 au nord et l'A50 à l'est. La complexité géométrique du tracé est avant tout liée au contexte du projet :

- Portion Est : des travaux commencés dans les années 90 et inachevés contraignent fortement le projet, puisque l'évolution de la réglementation entraîne inévitablement certaines modifications du tracé ;
- Portion Nord : la réalisation complète des travaux dans un corridor réservé à cet effet, dans un environnement urbain particulièrement dense dont on ne doit pas interrompre la circulation ;



1
© GIE L2

- Le planning de conception tendu, vis-à-vis de la livraison échelonnée des portions.

Le projet prévoit des dessertes locales (4 échangeurs complets) afin de créer un nouvel axe urbain efficace.

En marge du projet, un vaste programme de réorganisation des quartiers nord est en cours et de nouveaux espaces

verts seront créés au-dessus de l'autoroute. De plus, le projet doit prendre en compte des contraintes hydrauliques fortes et assurer la garantie d'un haut niveau de qualité et de sécurité imposé par une voie rapide urbaine (figure 1). Dès le démarrage de cette nouvelle phase de travaux, la Direction de Projet de Bouygues TP, épaulée par Egis pilotant la Direction de l'ingénierie, a pris la décision ambitieuse de mettre en œuvre un BIM pour :

- Valider la géométrie complexe due à l'environnement et aux levées de réserve de l'État ;
- Assurer la cohérence des données délivrées par les nombreux bureaux d'étude impliqués ;
- Garantir le bon déroulé de la réalisation des travaux en simulant virtuellement les phasages de construction, en particulier au niveau des échangeurs avec l'A7 et l'A50, ainsi qu'au niveau de la tranchée couverte de Sainte Marthe, à réaliser sous circulation ;
- Utiliser la maquette numérique pendant les revues de projet ;

1 - Le tracé de l'autoroute A507.

1 - Alignment of the A507 motorway.



© EGIS 2

Le cadre collaboratif et concourant d'un PPP, ainsi que les spécificités techniques du projet L2 étaient appropriés pour une telle expérimentation en grandeur réelle (figure 2).

Pour faire face aux difficultés d'une telle expérimentation, un accord de partenariat prévoyait une assistance permanente des équipes du projet par une cellule dédiée.

Durant toute la phase d'étude, incluant les phases AVP et PRO, cette équipe mixte ingénieur-constructeur s'est réunie toutes les deux semaines afin de définir les règles, les protocoles, les instructions de projet du Plan d'Assurance Qualité et aider les équipes du projet dans la mise en œuvre.

Du côté Ingénierie, Egis assurait la coordination de ses différentes filiales bureaux d'études : Egis international, Egis Structure et Environnement, Egis France.

L'EXPÉRIENCE DE LA NRL

L'expérience de la maquette numérique développée durant la phase d'étude de la Nouvelle Route du Littoral à la Réunion (NRL) a été décisive pour lancer ce projet et définir les objectifs :

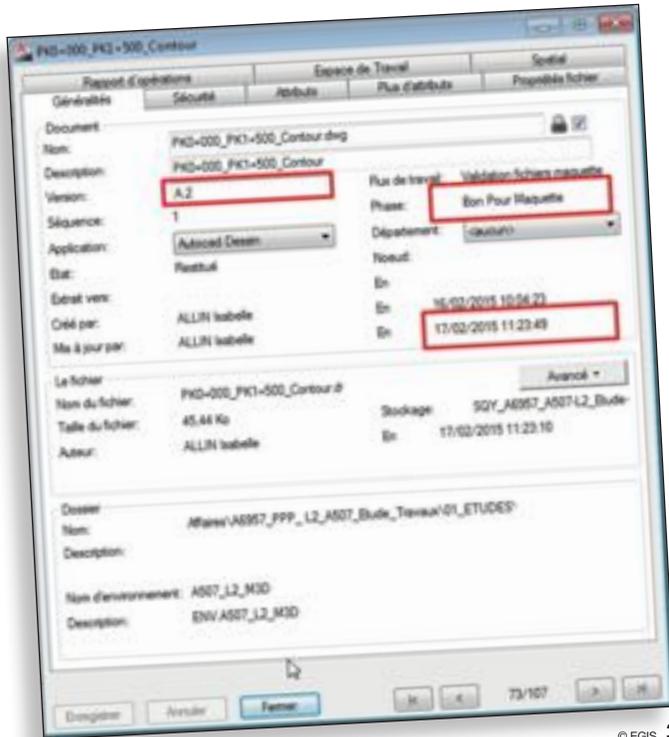
→ Il fallait que la maquette numérique s'inscrive dès le départ dans le processus de conception. En effet, l'idée anglo-saxonne de Maquette Numérique conçue comme un *data drop*, à savoir un livrable à la fin d'une phase, n'apparaissait pas comme profitable aux équipes projet. Il y a nécessité que toutes les équipes s'emparent de la maquette numérique pour qu'elle suive les évolutions de la conception et de la construction.

→ L'expérience de la NRL apportait également une architecture d'outils fiable et stabilisée. Cependant il est apparu très rapidement que le travail sur les différentes procédures devait être très nettement approfondi. C'est à cela que s'est attaché l'équipe « BIM Management » pour le compte du projet.

L'ARCHITECTURE BIM

L'architecture BIM mise en place pour la phase de conception s'est appuyée sur celle qui avait été utilisée pour la NRL, enrichie de l'expérience acquise sur des projets autoroutiers au Moyen Orient :

→ Un outil collaboratif de production qui permet le déploiement, pour les différents partenaires, d'un espace partagé d'informations gérées par des flux d'approbation.



© EGIS 3

2- Échangeur des Arnavaux.

3- Informations attachées aux fichiers sur la plateforme collaborative.

2- Arnavaux interchange.

3- Information attached to files on the collaborative platform.

Mais la démarche BIM impose surtout d'instaurer des processus communs de travail collaboratif, afin d'assurer la qualité des informations, de valider des choix et de prendre des décisions basées sur des données fiables et cohérentes entre elles.

LA MAQUETTE PRO

Dès avant le démarrage du projet L2, les équipes qui avaient participé au Projet COMMUNIC (projet ANR 2006-2011) et qui développaient le Projet National de recherche MIN²D, avaient envisagé la possibilité de collaborer pour la mise en œuvre de processus BIM lors d'une étude commune.

→ Communiquer avec les services de l'État, les élus et les riverains, en montrant l'impact des travaux sur le quotidien des usagers.

Pour cela, un partenariat concernant le BIM a été signé. Son principe de base est de faire une représentation 3D du projet par agrégation des données issues de la multitude des contribu-

teurs et d'en faire la synthèse, tout en conservant les données techniques. L'enjeu consiste donc à identifier précisément chaque objet à ses différents niveaux de maturité, pour pouvoir le confronter à son environnement, pour identifier son responsable, et permettre son suivi lors de modifications éventuelles.

→ Un outil d'intégration des informations 3D, pour gérer la coordination (la revue de modèles) et préparer les revues techniques de projet.

Cette architecture s'inspire des règles établies dans le BS 1192 pour la gestion d'un environnement commun de données. L'idée est d'établir un lien de confiance entre les différents partenaires qui peuvent avoir accès aux données du projet en amont de la validation afin d'anticiper la coordination. L'autre idée était d'expérimenter une validation des données sans passer par les livrables traditionnels.

LA GESTION DES VALIDATIONS

La gestion des validations est rendue possible par une procédure de revue de projet en trois phases :

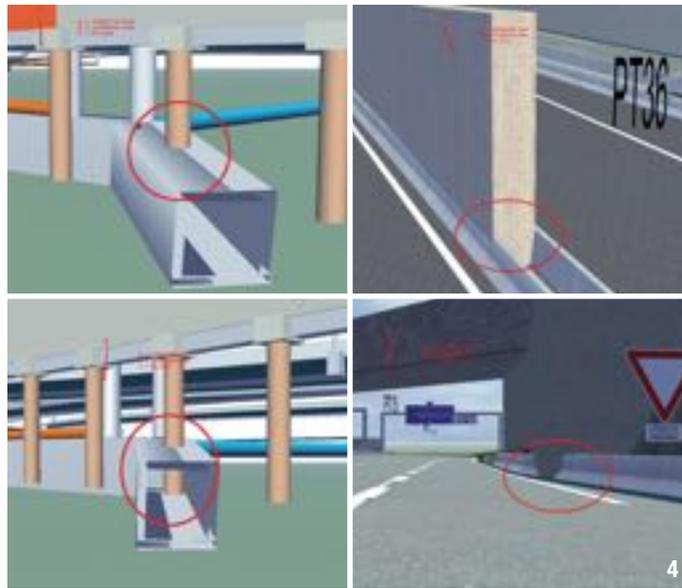
- À la fin de la conception amont : la revue des modèles. Les objets 3D d'un modèle métier sont analysés et contrôlés ;
- La phase de synthèse des études : la revue de coordination des modèles des différents domaines et métiers ;
- La revue technique avec la Direction de Projet : les modèles sont validés au regard des exigences du contrat.

LE PROCESSUS DE CONCEPTION

La mise en œuvre de la maquette numérique en phase de conception n'est pas un parcours sans turbulence. Mais il a connu une amélioration profonde au cours de ces deux ans par une très grande richesse d'innovations dans la description des procédures, dans la mise en œuvre des outils, dans l'approche de la modélisation 3D et de son utilisation dans le cadre d'un contrat. Autrement dit, les résultats acquis pour les partenaires permettent d'appréhender très concrètement les exigences contractuelles pour l'implémentation du BIM sur des projets d'infrastructures.

LES APPORTS

- Pour intéresser les équipes de production, il faut identifier une utilisation directement utile. La mise en place doit donc se faire dès le départ et s'intégrer au Plan de Management de Projet sur des cas très précis. Le meilleur exemple est l'utilisation en phase d'avant-projet comme visite virtuelle pour préparer l'audit de sécurité auprès des services de l'État (GRA - Gestionnaires du Réseau Autoroutier Concédé).
- Pour établir la confiance, la traçabilité de la donnée et de l'informa-



4 © EGIS

tion est primordiale. La maquette numérique L2 fournit une des procédures associant le *versionning*, le statut et le *nommage* qui peut servir de référence pour d'autres projets (figure 3).

- Le travail de modélisation en objet 3D apporte des gains considérables en temps et en contenu pour la synthèse et la coordination (figure 4).
- La pression d'une ingénierie concurrente conception et construction a montré la nécessité d'avoir une approche différenciée des modèles pour chaque besoin.
- Enfin, il apparaît clairement que les pratiques et les outils sont percutés par cette expérimentation opérée-

4- Synthèse menée sur le projet L2 grâce à l'outil d'intégration VirtualMap.

5- Une meilleure compréhension de l'imbrication des ouvrages.

4- Synthesis carried out on the L2 project using the Virtual-Map integration tool.

5- A better understanding of the interlinking of structures.

tionnelle. Des gains significatifs de productivité pourraient être obtenus dans trois directions :

- Une généralisation de l'utilisation d'objets 3D par toutes les spécialités. La création de catalogues d'objets industriels sous format normalisé serait un apport considérable.
- L'implémentation dans les plateformes collaboratives de l'outil d'intégration apporterait des gains manifestes dans le suivi des modifications.
- La prise en compte de fonctionnalités propres aux infrastructures linéaires dans l'outil d'intégration permettrait des gains importants dans la préparation des revues de maquette (figure 5).

LA MAQUETTE EXE

De son côté, le groupement GIE L2-constructeurs, piloté par Bouygues TP et composé également des sociétés Dtp, Colas, Spie Batignolles, met en œuvre en parallèle une maquette numérique EXE en suivant des processus similaires à ceux de la maquette PRO, tout en prenant compte les contraintes du chantier.

La maquette EXE aura plusieurs usages, même si son utilisation reste encore à systématiser sur l'ensemble du tracé :

- Le contrôle géométrique entre l'existant, les données PRO et les données EXE est le point le plus crucial, étant donnée la complexité des travaux (en particulier sur la



5 © BOUYGUES TP

portion Est, qui s'insère dans des ouvrages inachevés). Effectivement, de nombreux écarts entre les ouvrages existants et les nouveaux ouvrages conçus ont été détectés et ont donc été pris très en amont de la validation PRO afin de concevoir sur des bases fiables. Cette analyse permet donc de proposer des solutions, des variantes ou des optimisations.

→ La gestion des incohérences : suite à l'analyse des conflits par le BIM Manager, chaque incohérence, que ce soit entre disciplines ou que ce soit vis-à-vis des données PRO, fait l'objet d'un traitement soigneux. Chaque sujet (nommé *topic*) à résoudre est détaillé dans une fiche destinée au contributeur responsable de la cohérence de la donnée. Dans le cas où la résolution exigerait une décision de la direction de projet, un statut particulier est affecté au *topic* pour son traitement en revue de projet (figure 6).

→ La revue de projet : c'est le siège des décisions stratégiques qui impactent les coûts, les délais, la qualité, les dérogations réglementaires ou les autres sujets techniques, administratifs ou juridiques. Les *topics* identifiés sont présentés pendant cette revue de projet et affectés aux responsables désignés, après analyse des conséquences financières ou autres sur le projet. Ce processus reste à améliorer, car les outils actuels ne permettent pas un suivi correct de leur résolution.



6 © BOUYGUES TP

6- Incohérence des données - le TPC n'est pas adapté au diamètre de la pile centrale.

7- Représentation des réseaux d'assainissement (plans 2D « remontés » en 3D).

6- Data inconsistency - The central reserve is not appropriate for the diameter of the central pier.

7- Representation of drainage networks (2D drawings "raised" to 3D).

→ La communication interne vers les équipes qui exécutent les travaux est aussi un des objectifs les plus attendus de la maquette. Dans un projet de cette complexité où les travaux sont menés sur plusieurs fronts simultanément et impactent sensiblement la circulation et le quotidien des usagers, il est primordial de bien expliquer les contraintes d'accès, de logistique, de sécurité, d'enchaînement des travaux, de basculement et de rétablissement de circulation. La visualisation en 3D des phasages de construction permet de mieux appréhender l'espace où se déroulent des travaux, en particulier dans des zones sous trafic important.

→ La communication externe vers les usagers est aussi un des objectifs identifiés de la maquette. La communication est un mot d'ordre.

L'acceptabilité des travaux par les usagers passe par une campagne de dissipation des craintes, en expliquant les déviations temporaires, la durée des interventions et la vision claire de l'amélioration future globale. Il faut rassurer et aller vers les usagers, afin de mieux vivre ensemble les troubles engendrés par un projet urbain aussi perturbant.

La maquette EXE est la continuité de la maquette PRO. Elle est censée s'appuyer uniquement sur les données de la phase précédente, dont la structuration est orientée « ouvrages finaux ». La phase EXE, quant à elle, doit détailler les modes constructifs et donc découper les ouvrages définis lors de la phase PRO en plots élémentaires correspondant au phasage des travaux. Les données EXE sont alors orientées « construction ».

Une équipe « Maquette Numérique », appartenant à la direction technique et intégrée à la cellule synthèse, re-modélise les données existantes du DCE et complète ou corrige les données 3D ambiguës. Aujourd'hui encore, la plupart des bureaux d'études impliqués ne fournissent pas de données 3D. Les plans 2D livrés doivent donc être « remontés » en 3D par l'équipe. Se pose alors le problème suivant : qui est responsable de la donnée 3D présente dans la maquette dès lors qu'il ne s'agit pas de la donnée native livrée par le responsable de cette information ?

Étant donné le niveau de détail attendu, les données d'entrée de cette maquette EXE sont différentes de celles de la phase PRO. Elles sont essentiellement issues du système de Gestion Electronique de Documents (GED) contractuel du projet. D'autres données sont générées par les ingénieurs méthode du chantier.

Une des missions rigoureuses de l'équipe Maquette Numérique est le suivi des données intégrées dans la maquette. Ce suivi est organisé par type d'objets et définit la phase d'étude, le numéro et la version du plan ou du modèle 3D natif stockés en GED.

Le planning tendu de réalisation du projet global implique un chevauchement significatif des phases PRO et EXE. Ces phases n'étant donc pas séquentielles, de nombreuses données EXE sont diffusées et validées pour exécution, avant même la fin de la livraison des données PRO. Cette imbrication perturbe inévitablement la synchronisation et donc l'homogénéité des maquettes PRO et EXE.



7 © BOUYGUES TP

De même que pour la maquette PRO, les données issues des modeleurs (Autocad, Civil3D, Inventor, Novapoint) sont peu orientées « objets ».

C'est pourquoi il est indispensable de spécifier une charte graphique pour chaque logiciel.

On est alors capable de fédérer ces objets en les organisant par famille, calque ou nom de fichier.

Cette organisation (ou filiation) est alors retranscrite par le logiciel d'agrégation (VDC de Vianova en l'occurrence sur le projet) qui va pouvoir rassembler dans un même environnement graphique l'ensemble des ouvrages du projet (figure 7).

LES FREINS ET LES MOTEURS

La mise en œuvre d'un processus BIM sur un chantier de cette ampleur est tout à fait justifiée. C'est une nouvelle façon de concevoir et de gérer les données issues de nombreux intervenants. Aujourd'hui encore, alors que les logiciels ne sont pas parfaitement aboutis, il reste à simplifier les processus basés sur ces outils informatiques.

Certaines ambitions sont encore à parfaire, voire à mettre en œuvre :

→ **La mobilisation de tous les intervenants et la montée en compétence de toute la chaîne de valeur.** Tous les acteurs possèdent une réelle expertise dans leur domaine. Si la maquette numérique doit devenir un objet commun partagé, il faut que chacun identifie ses usages propres, se l'approprie et sache l'exploiter.

→ **La 3D ne sait pas représenter l'incertitude.** Il faut donc savoir distinguer les informations dans des niveaux de développement différents (LOD - Level Of Development). Certaines données de la maquette sont à l'état d'information (position incertaine mais présence indispensable), et ne doivent pas « polluer » les prises de décision (surtout dans les phases amont où certains grands principes sont encore à valider).

→ **L'attribution du visa sur la maquette numérique et non plus sur les plans.** Les données de la phase EXE sont encore validées sur plans, alors que ces plans mêmes sont issus de la maquette 3D EXE. Il serait logiquement plus pertinent d'apposer un visa sur la maquette d'une zone, plutôt que sur la liasse de plans correspondante (figure 8).



8

© BOUYGUES TP



9

© BOUYGUES TP

→ **Le contrôle de l'avancement des études au travers de la maquette numérique.** Le BIM permet effectivement de délivrer des plans de meilleure qualité et parfaitement cohérents avec leur environnement contextuel direct. En effet, les problèmes d'interface sont souvent résolus en 3D au sein de la maquette et la validation des plans n'a lieu que lorsque que les collisions identifiées dans la maquette sont résolues. On parle alors de maquette *clash free*. Mais cela nécessite souvent un délai complémentaire, qui impacte le planning traditionnel de livraison des plans et notes de calcul.

8- Maquette EXE avec LOD élevé (niveau de détail des objets précis).

9- Représentation des aménagements paysagers finaux.

8- EXE model with high LOD (level of detail of precise objects).

9- Representation of final landscaping.

→ **La synchronisation des maquettes PRO et EXE.** La source des incohérences est avant tout liée à la provenance multiple des données d'entrée. Il est impératif d'utiliser une base de données commune partagée. Cela impose une architecture informatique fiable permettant d'établir la confiance entre les partenaires. Cela passe donc par la garantie que les données seront fiables et que la responsabilité ou la nécessité de confidentialité de chacun sera respectée.

→ **La filiation de l'information.** Pour pouvoir gérer et analyser rapidement les incohérences, il faut nommer les objets et leurs compo-



© BOUYGUES TP
10

sants, conformément à une charte informatique commune. Trop de projecteurs ne prennent pas le temps de l'assimiler et rendent parfois des données non conformes qui nécessitent une reprise par l'équipe BIM.

→ **La gestion des incohérences est la base-même de la qualité d'une maquette.**

Il faut identifier les incohérences et les gérer, c'est-à-dire les attribuer pour les résoudre. Le format BCF (BIM Collaboration Format) devrait permettre cette gestion, en espérant leur implémentation prochaine par les éditeurs de logiciels.

→ **La contractualisation du BIM.**

Aujourd'hui encore, peu de contrats imposent l'utilisation du BIM comme outil collaboratif. C'est cette lacune qui engendre les difficultés pour résoudre les problèmes techniques évoqués ci-dessus, en particulier les

10- Un phasage en 3D, permettant de valider les déviations de routes.

10- Work sequencing in 3D, making it possible to validate road diversions.

ressaisies encore trop nombreuses et le manque de fluidité dans les échanges (figure 9).

Certaines autres ambitions sont atteintes et ne demandent qu'à être généralisées :

→ **Des revues de maquette, en amont de la revue de projet.**

Elles rassemblent régulièrement les acteurs contributeurs, permettent

d'identifier les *topics* de non qualité et donc de désigner les responsables en charge de leur résolution.

→ **La performance des outils.**

Les outils logiciels dédiés à la modélisation 3D, à la simulation, à l'agrégation ou au partage des données existent et sont performants. Il faut savoir les assembler et les faire communiquer entre eux. Les éditeurs proposent des solutions technologiques, mais c'est aux utilisateurs de définir leurs processus, en particulier pour fluidifier les échanges au travers de plateformes interopérables manipulant des « objets intelligents » de format neutre.

→ **La confiance.**

C'est le maître-mot de l'environnement BIM. Au-delà des contraintes contractuelles d'un projet, il faut savoir œuvrer conjointement pour la réussite du projet dans sa globalité. La structuration

des données à partager est un travail fastidieux à réaliser au plus tôt. Seule une approche anticipée permet d'engager une démarche collaborative innovante et efficace. L'établissement de la confiance réciproque est aussi l'affaire des pouvoirs publics, qui doivent promouvoir le BIM et la recherche collaborative autour de ces sujets différenciateurs.

CONCLUSION

De nos jours, la décision de mettre en œuvre un environnement BIM sur un chantier d'infrastructure complexe est encore portée par une Direction de Projet engagée et particulièrement volontariste. Aucun contrat, aucun règlement n'impose aujourd'hui le BIM. Les outils informatiques manquent de maturité : les formats d'interopérabilité sont balbutiants, les processus de collaboration sont expérimentaux et nécessitent encore des simplifications.

Malgré cela, la détermination des intervenants du projet L2 démontre la pertinence d'un tel environnement de travail, permettant d'identifier très en amont les incohérences de conception et les informations non fiables. Il autorise des prises de décision basées sur des données synthétiques sans interprétation hasardeuse. Il permet d'établir la notion d'acceptabilité avec les élus ou les usagers, au travers d'une communication vulgarisée et compréhensible (figure 10). Il permet enfin d'instituer un cadre de confiance entre les partenaires du projet, qui œuvrent ensemble vers la réussite du projet global et non plus pour leur propre intérêt. Le projet de la Rocade L2 à Marseille demeure une expérience convaincante et s'impose dès aujourd'hui comme une référence BIM majeure dans le secteur de la construction d'une infrastructure routière urbaine en France. □

ABSTRACT

COMPUTER MODELLING OF THE 'ROCADE L2' INFRASTRUCTURE PROJECT IN MARSEILLE

PIERRE BENNING, BOUYGUES TP - CHRISTOPHE CASTAING, EGIS

Nowadays, the decision to use a BIM environment on a major infrastructure project is a decisive challenge. *In the case of the A507 urban motorway infrastructure project in Marseille, called 'Rocade L2', the project management's decision was expressed very early and with great conviction. More than one year after the start of this BIM approach, and despite the progress achieved, there still remain obstacles to its implementation and use. But significant progress has been made and the results are representative of the hopes for this new collaborative work environment.* □

LA MAQUETA DIGITAL DEL PROYECTO DE INFRAESTRUCTURA DE LA RONDA L2 EN MARSELLA

PIERRE BENNING, BOUYGUES TP - CHRISTOPHE CASTAING, EGIS

Hoy en día, la decisión de implementar un entorno BIM en una gran obra de infraestructura constituye una apuesta decisiva. *En el caso del proyecto de infraestructura de la autopista urbana A507 de Marsella, denominada Ronda L2, la Dirección del proyecto expresó dicha voluntad de inmediato y con mucha convicción. Transcurrido más de un año desde el inicio de este procedimiento BIM, y pese a los avances logrados, todavía persisten ciertos obstáculos a su aplicación y su utilización. Pero los progresos son significativos y los resultados son representativos de las esperanzas que despierta este nuevo entorno de trabajo colaborativo.* □

STADE PIERRE MAUROY À LILLE - LA MAQUETTE NUMÉRIQUE COMME OUTIL D'AIDE À LA CONCEPTION, FABRICATION ET POSE DE LA FAÇADE - CONSTRUCTION D'UN DOE NUMÉRIQUE

AUTEURS : VALÉRIE BONIFACE & CONSTANCE DE BATZ, DIRECTION TECHNIQUES OUVRAGES ET STRUCTURES, EIFFAGE CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE A SERVI À LA CONCEPTION, LA FABRICATION ET LA POSE DES ÉLÉMENTS EN ACIER ET EN POLYCARBONATE DE LA FAÇADE DU STADE PIERRE MAUROY À LILLE AU TRAVERS L'UTILISATION D'UNE BASE DE DONNÉES PARAMÉTRIQUE COLLABORATIVE. CE TRAVAIL, LIMITÉ À L'ORIGINE À L'OBJET FAÇADE, A DONNÉ L'OCCASION D'EXPÉRIMENTER ET DE METTRE EN PLACE LA TRAME D'UN DOE NUMÉRIQUE POUR TOUS LES ÉLÉMENTS DE LA COUVERTURE DU STADE.



1
© GÉRARD TORDJMAN

AVANT-PROPOS

L'enveloppe du stade Pierre Mauroy, venant coiffer l'infrastructure du stade, est une charpente métallique en forme de galet plat, recouverte sur ses façades d'un système combiné de plaques et de tubes en polycarbonate. L'objet de cet article est de décrire comment la maquette numérique a servi à la conception, la fabrication et la pose des éléments en acier et en polycarbonate par l'utilisation d'une base de données paramétrique collaborative.

Ce travail, limité à l'origine à l'objet façade, a donné l'occasion d'expé-

ri-
menter et de mettre en place la trame d'un DOE numérique pour tous les éléments de la couverture du stade.

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE AU SERVICE DE LA CONCEPTION, DE LA FABRICATION ET DE LA POSE DE L'ENVELOPPE

LE PROJET ARCHITECTURAL

L'enveloppe du stade forme une coque translucide de 27 000 m² environ aux angles arrondis, symétrique, dont une face est tronquée pour accueillir l'écran géant lumineux formant la façade urbaine.

1- Vue du parvis et de l'entrée façade Nord.

1- View of the square and the North facade entrance.

Le « galet » est recouvert sur ses faces latérales de tubes polycarbonate. La partie supérieure de l'enveloppe, au-dessus des circulations, est doublée de plaques polycarbonate pour protéger les spectateurs de la pluie.

Afin d'obtenir une forme harmonieuse, l'architecte a combiné des zones toriques, cylindriques et quelconques pour générer la surface de référence sur laquelle s'inscrit la façade. Il s'agit donc d'une forme complexe non développable. Elle est le point de départ du travail de conception des éléments de structure et de couverture la composant.

LA CONCEPTION DU SYSTÈME DE FAÇADE

La conception du système de façade est à la fois complexe dans sa géométrie et dans sa conception.

La conception a été dictée par deux problématiques :

1- L'obligation de s'insérer entre 2 systèmes figés :

- Côté extérieur parvis, la surface architecturale de référence forme la peau extérieure du stade (figure 2),
- Côté intérieur stade, le système repose sur une structure acier composée de « fléaux » (éléments verticaux) et de « pannes » (éléments horizontaux). Ces éléments sont inscrits dans une surface décalée de la surface de référence. Pour des raisons de faisabilité de la construction des éléments en acier, les fléaux sont constitués d'une série de rayons cylindriques et les pannes sont des éléments

2- Surface de référence de l'enveloppe.

3a & 3b- Coupes sur fléaux - Géométrie constructive.

2- Reference surface of the shell.

3a & 3b- Cross sections on cantilever sections - Construction geometry.

droits dans les zones courantes, cylindriques dans les virages (figure 3).

La problématique est donc de construire des éléments de façade qui coïncident avec les éléments construits en acier tout en se rapprochant au plus près de la géométrie de l'architecte.

2- Un détail constructif peu courant : la façade est constituée d'environ 10 000 tubes polycarbonate de 212 mm de diamètre, de longueurs différentes suivant l'implantation, supportés par des manchons en acier fixés sur une structure secondaire, « les côtelettes », reposant sur les pannes de la structure principale. Dans la partie haute, des panneaux polycarbonates positionnés sous

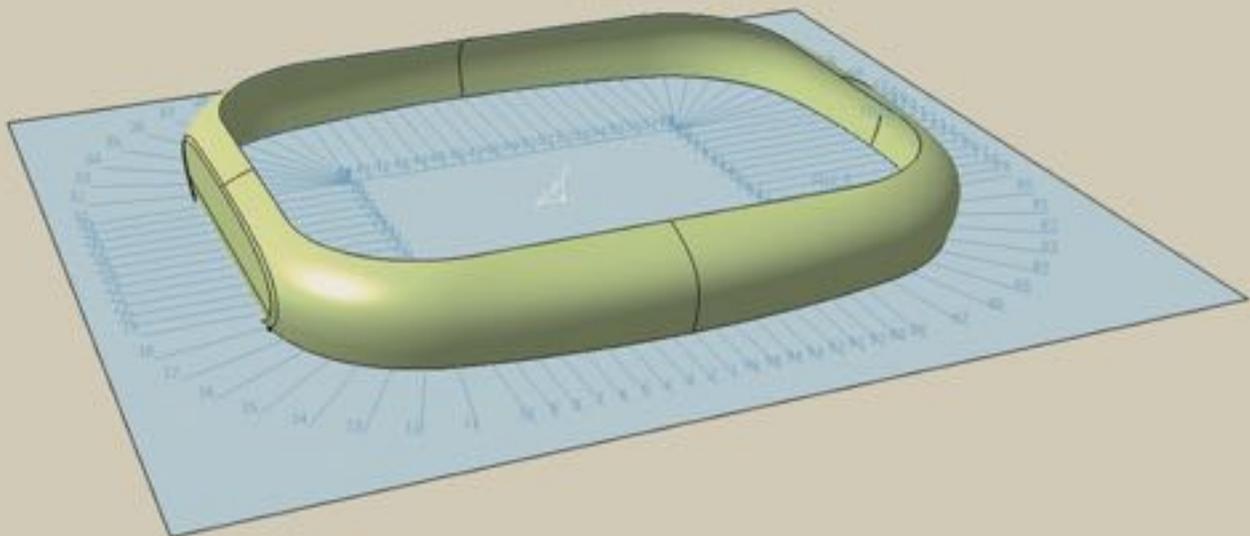
les tubes protègent les circulations (figure 4).

L'utilisation d'une maquette numérique « locale », c'est-à-dire de la façade et de ces éléments de référence, a permis de trouver un optimum entre toutes ces contraintes. Le logiciel utilisé est Digital Project (base CATIA, Dassault System), outil paramétrique très puissant développé par l'architecte Franck Gehry pour gérer ses projets à géométrie très complexe.

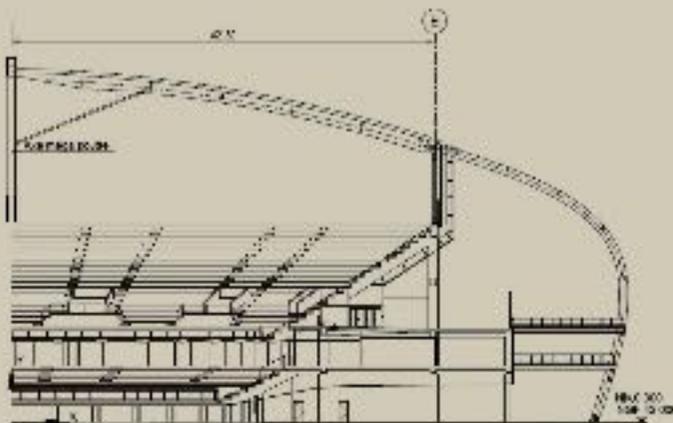
Les étapes ont été :

1- Intégration des données des études d'exécution dans la maquette 3D (éléments déjà construits - structure acier fléaux/pannes) à partir des plans d'exécution 2D et de la surface de référence architecturale. ▷

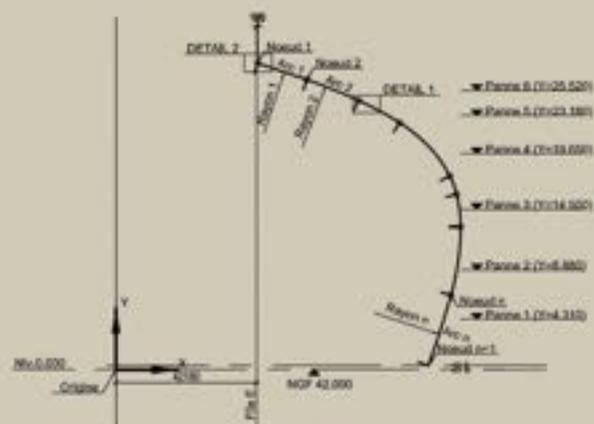
SURFACE DE RÉFÉRENCE DE L'ENVELOPPE



2



3a

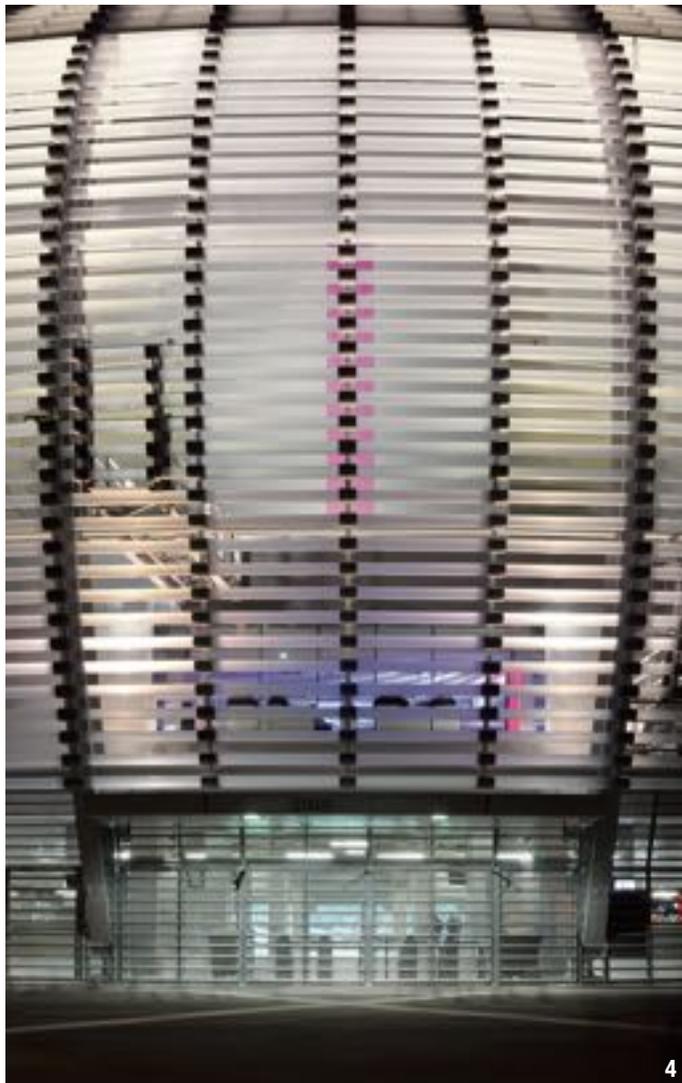


3b

- 2- Extraction des données utiles à l'étude et analyse des données d'entrée et des décalages surface de référence/surface construite.
- 3- Recherche de solutions pour la création des tubes et des côtelettes en utilisant la puissance paramétrique de programmation et d'automatisation du logiciel. Celui-ci permet la comparaison des avantages et inconvénients des solutions de manière très rapide (analyse des géométries, respect de l'intention architecturale, analyse de clashes entre structures et éléments tubes, intégration des paramètres de fabrication, construction itérative...) (figures 5 à 8).

LA FABRICATION

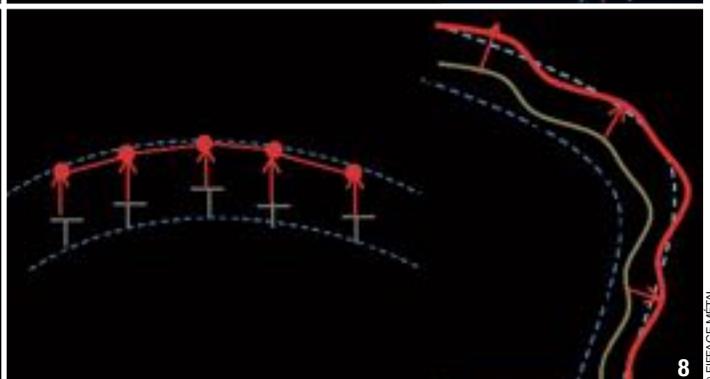
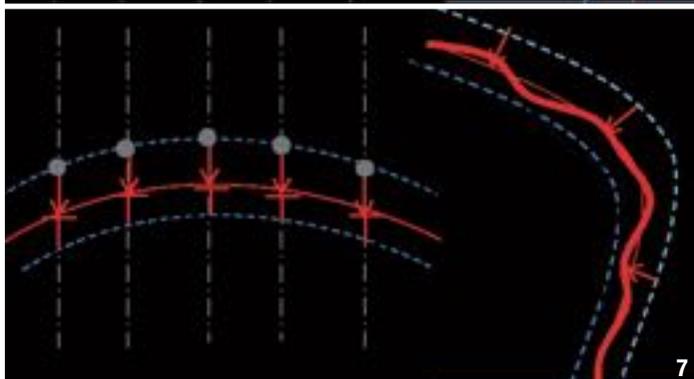
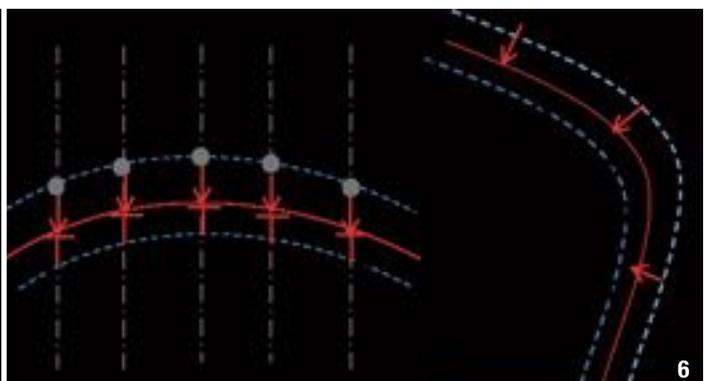
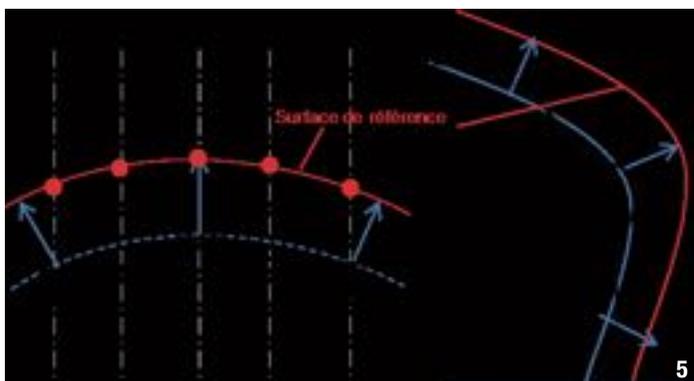
Compte tenu de la géométrie complexe, tous les éléments de supports (les côtelettes), les tubes et les plaques polycarbonate sont différents ainsi que toutes les attaches entre la structure de façade et la structure primaire. Une analyse des angles entre les tubes a permis de concevoir une pièce unique pour tout le projet, le manchon, qui s'adapte à toutes les configurations. La maquette numérique, par son extrême précision, a permis d'extraire de façon **automatisée et donc fiable** à la fois des données de fabrication directement utilisables par les machines à commandes numériques (par exemple débit des tôles servant à la réalisation des côtelettes en pro-



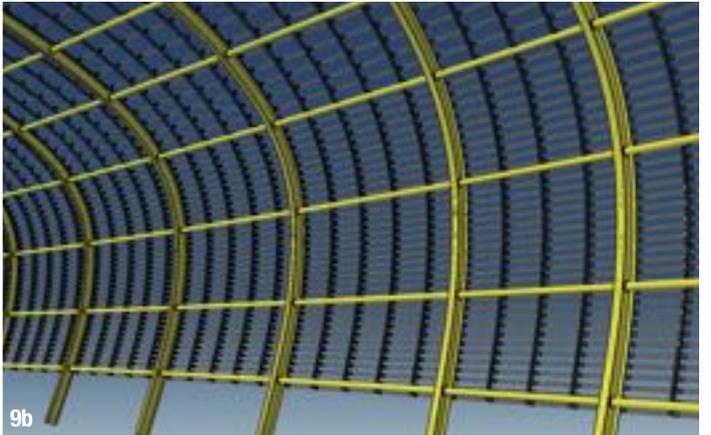
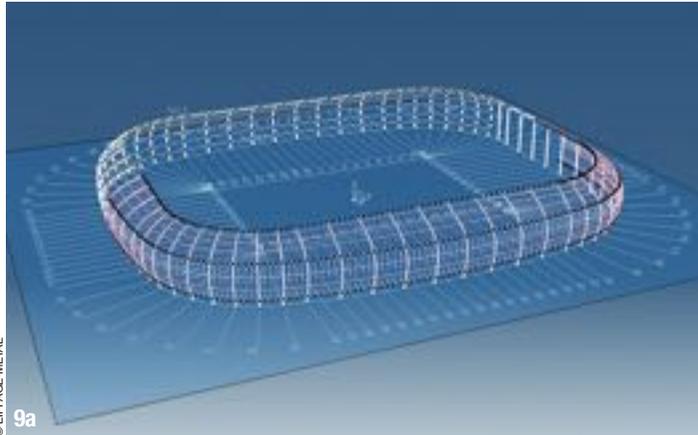
4 © GÉRAUD TORREJIMAN

- 4- Principes d'enveloppe.
- 5- Règle d'implantation des points d'épure des tubes.
- 6- Position théorique idéale des côtelettes.
- 7- Rationalisation des côtelettes.
- 8- Position réelle des tubes après rationalisation des côtelettes.

- 4- Shell techniques.
- 5- Rule for the layout of sketch points for the tubes.
- 6- Theoretical ideal position of the ribs.
- 7- Rationalisation of the ribs.
- 8- Actual position of the tubes after rationalisation of the ribs.



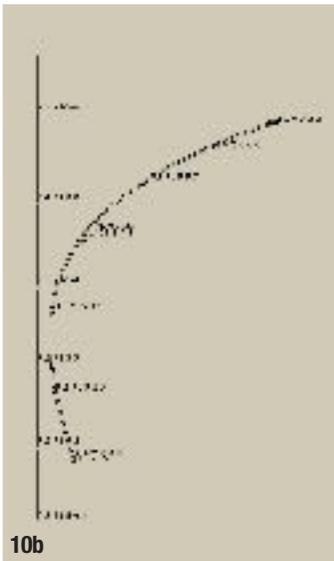
© EIFFAGE METAL



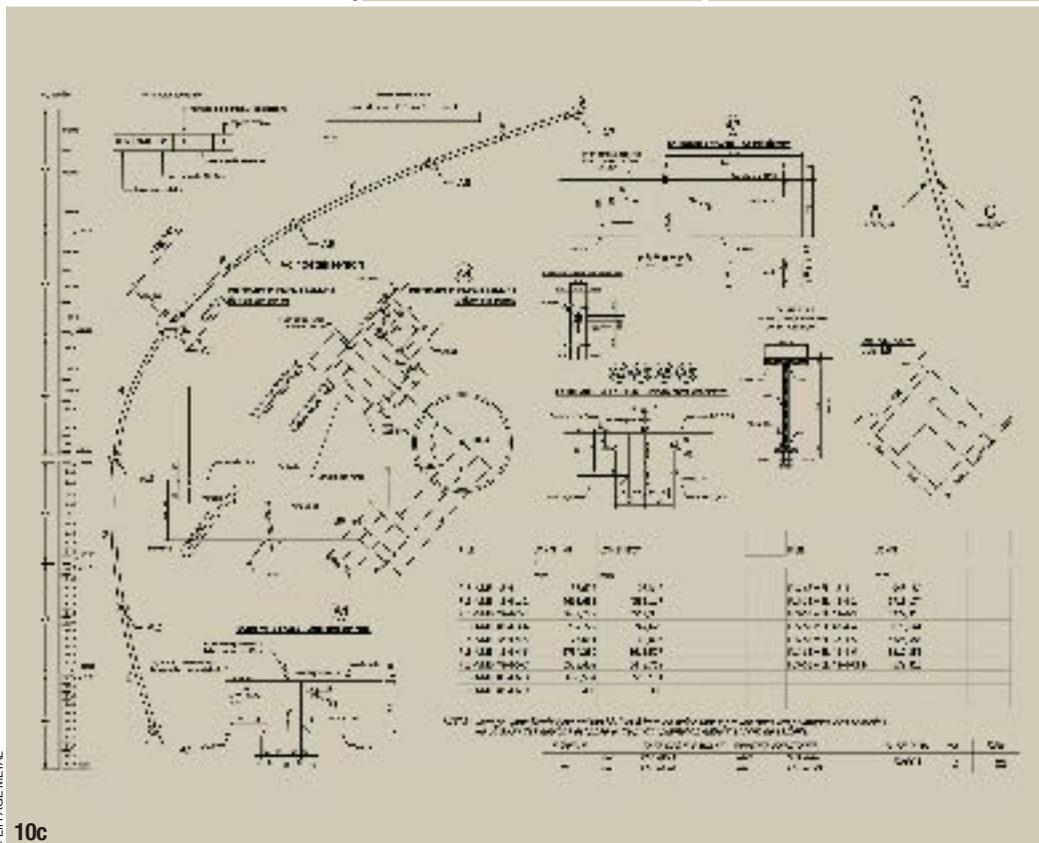
© EIFFAGE MÉTAL

9a & 9b- Vues du modèle final.
10a, 10b & 10c- Extractions modèle et plans de fabrication.

9a & 9b- Views of the final model.
10a, 10b & 10c- Model excerpts and manufacturing drawings.



© EIFFAGE MÉTAL



© EIFFAGE MÉTAL

fil en T reconstitué par soudure) et la réalisation des plans de fabrication. Les illustrations fournissent des exemples pour les plans de fabrication des côtellettes (figure 10), pour le prototypage des manchons (figure 11), pour les plans de fabrication des panneaux polycarbonates (figure 12).

LA POSE

La maquette numérique a été utilisée essentiellement comme assistance au montage et au pré-assemblage sur site des panneaux polycarbonate et de leurs cadres supports.

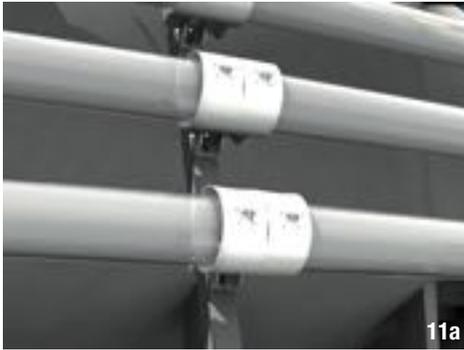
Les éléments géométriques de chaque élément formant le cadre (nombreux cadres différents pour s'adapter à la géométrie) à pré-assembler sont présentés par un tableau à partir de schémas de principe explicatifs.

La présentation des éléments a été faite avec la participation du sous-traitant en charge de la fabrication et de la pose (figure 13). Fiche de suivi (figure 14).

La maquette numérique de la façade a également servi à l'étude des éléments en interface avec la façade (chéneaux, boîtes à eau, ouvrants pompiers, plenum etc.) mais aussi à l'analyse du positionnement des alpinistes pour la maintenance. Tous les éléments et spécificités de la façade nord (l'écran géant) étaient également intégrés.

LE DOE NUMÉRIQUE

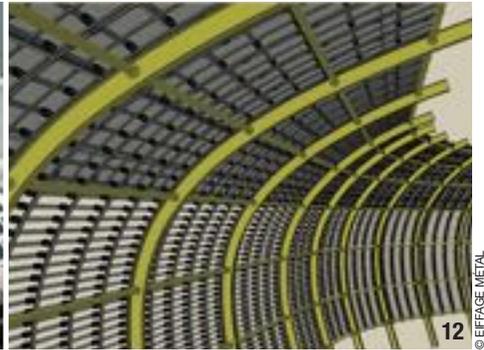
L'expérience de la maquette numérique sur la façade et la création d'une base de données assez complète a amené Eiffage Construction Métallique à expérimenter la mise en place d'un DOE numérique, permettant de valoriser les données créées et donner une valeur ajoutée au travail de conception et de réalisation réalisé dans le cadre du PPP (Partenariat Public Privé), Eiffage étant mainteneur et exploitant de l'ouvrage pendant plus de 30 ans.



11a



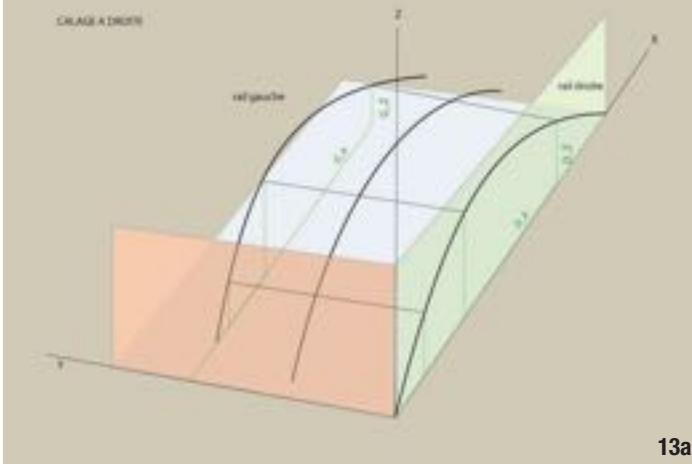
11b



12

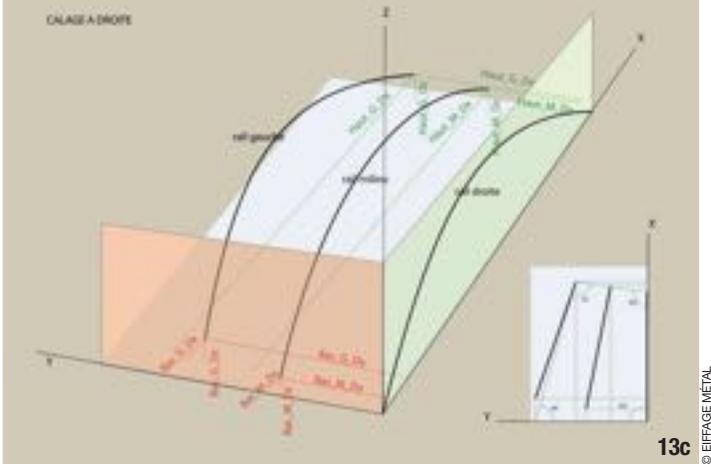
© EIFFAGE MÉTAL

COORDONNÉES DES TRAVERSES



13a

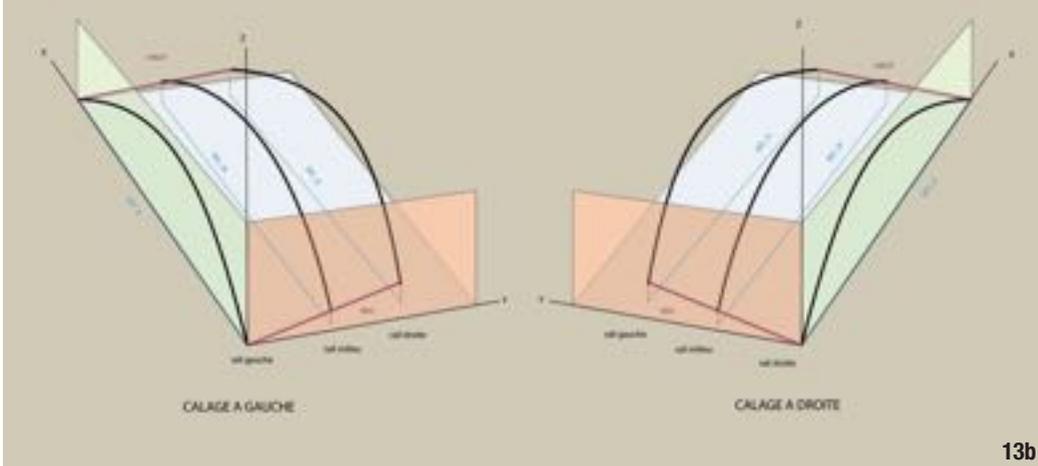
COORDONNÉES DES RAILS/ANGLES



13c

© EIFFAGE MÉTAL

COORDONNÉES DES LONGUEURS



13b

© EIFFAGE MÉTAL

11- Détail des manchons de support des tubes polycarbonate.

12- Vue modèle de fabrication des panneaux polycarbonate.

13a- Coordonnées des traverses.

13b- Coordonnées des longueurs.

13c- Coordonnées des rails/angles.

L'OBJECTIF

L'objectif du DOE numérique est d'avoir accès à toutes les informations d'une pièce particulière ou d'un assemblage de pièces du stade en naviguant simplement dans un modèle 3D (figure 15). L'étendue de ce DOE a été limitée à la structure métallique de couverture du stade et aux éléments de couverture et façade proprement dit, y compris les toitures mobiles, ses mécanismes et toutes les passerelles d'accès en toiture. Pour mémoire, la toiture est une charpente métallique de 10 000 t environ,

cf. article détaillé dans la Revue *Travaux* n°902 de décembre 2013. Pour créer cette base de données, il a fallu :

→ Dessiner toutes les pièces en 3D qui n'avaient pas été modélisées ainsi pendant les phases d'études.

→ Créer une fiche technique pour chaque pièce avec les informations nécessaires, en lien avec les documents créés pendant les phases d'exécution (plans, notes de calculs, fiche matériau, fiche de contrôle d'exécution, éléments de maintenance etc.).

→ Créer un lien entre les pièces modélisées en 3D et les fiches.

→ Créer une interface 3D pour accéder à ces informations.

LA CRÉATION DES DONNÉES

1 pièce = 1 fichier « dwg »

Pour les éléments concernés, cela représente 10 000 pièces donc 10 000 fichier « dwg ».

La création des fichiers unitaires 3D dwg a été faite à partir des plans 2D autocad réalisés pour les études d'exécution.

11- Detail of polycarbonate tube support sleeves.

12- Manufacturing model view of the polycarbonate panels.

13a- Cross member coordinates.

13b- Length coordinates.

13c- Rail/angle coordinates.

EXEMPLE DE SUIVI D'ASSEMBLAGE DES MODULES SUR SITE

© EIFFAGE MÉTAL

14a

EIFFAGE TP Fiche de suivi réglages Profilés Date / /

panneau **2 2 4**

Niveau 2
cabelette 2
niveau 4
Profilé de référence **DROITE**

Hauteur mesurée H entre le plan horizontal du gabarit et le profilé de référence
H = mm

Côtes de Réglages

| | ref | BAS | | | HAUT | | |
|--------|-----|----------|----------|--------------|------|----------|----------|
| | | distance | Dr ou Di | cote mesurée | ref | distance | Dr ou Di |
| Droite | DR | 0 | 0 | | 0 | 0 | |
| | DY | 0 | 0 | | 0 | 0 | |
| | DI | 0 | 0 | | 0 | 0 | |
| Milieu | DR | M_Dr | 42,822 | | M_Dr | 1026,126 | |
| | DY | M_Dy | 1228 | | M_Dy | 1228 | |
| | DI | M_Di | -25,923 | | M_Di | -25,923 | |
| Gauche | DR | G_Dr | 23,635 | | G_Dr | 1052,118 | |
| | DY | G_Dy | 2448 | | G_Dy | 2448 | |
| | DI | G_Di | -52,846 | | G_Di | -43,621 | |

Vérification angles et longueurs

| Angle | calculé | mesuré |
|-------|---------|--------|
| α1 | 88,763 | |
| α2 | 81,257 | |
| α3 | 70,206 | |
| α4 | 89,723 | |

| distance | calculée | mesurée |
|----------|----------|---------|
| BAS | 2448,117 | |
| HAUT | 2448,117 | |
| DR | 4867,117 | |
| DI | 4867,117 | |
| DY | 4876,467 | |

Observations: _____

Date: _____

© EIFFAGE MÉTAL 14b



14c

© EIFFAGE MÉTAL

14a, 14b & 14c-
Exemple de suivi
d'assemblage
des modules
sur site.

14a, 14b & 14c-
Example of
supervision
of assembly
of the modules
on site.

LA CRÉATION DES FICHES TECHNIQUES

**1 pièce = 1 fichier « dwg »
+ 1 fiche technique PDF**

Les données à renseigner par fiche dépendent de l'usage attendu du DOE. Voir la figure 16 pour un exemple de fiche et la manière de la compléter.

LA CRÉATION DE LA BASE DE DONNÉES DOE

**1 pièce = 1 fichier « dwg »
+ 1 fiche technique PDF
+ 1 ligne dans la base de données** ▷

Chaque « pièce » (y compris avec ses fichiers et liens préparés jusqu'à présent) devient **une ligne unique** dans la base de données.

LA CRÉATION D'UNE INTERFACE 3D

L'enjeu est de créer une interface 3D « légère » et facile à manipuler par des personnes non formées à l'utilisation de modèles 3D complexes.

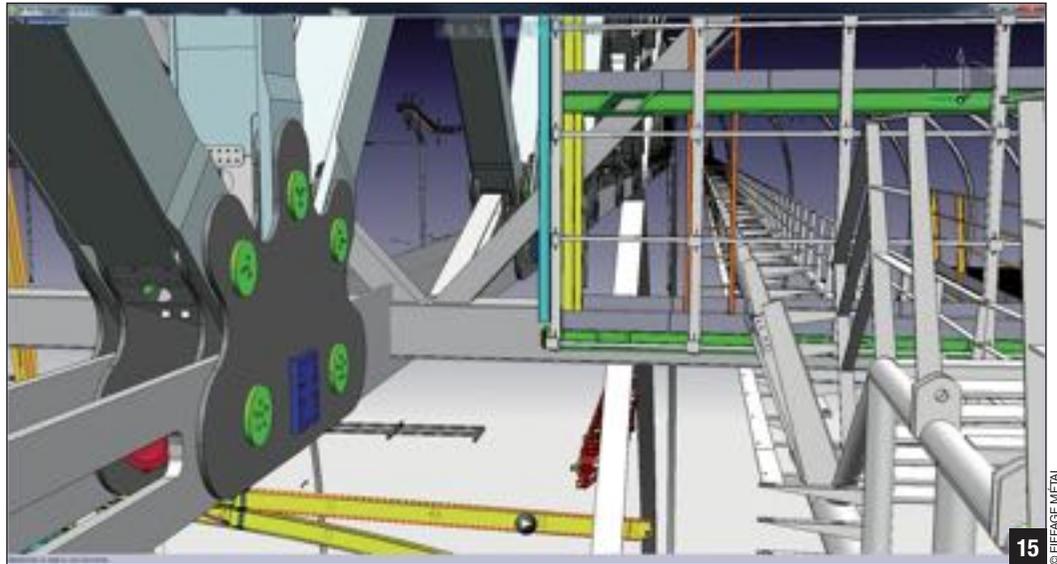
Les problèmes suivants se posent : l'impossibilité d'ouvrir tous les fichiers Autocad d'un coup simultanément, l'obligation d'avoir une interface 3D indépendante de tout logiciel 3D payant, la nécessité de pouvoir assembler 10 000 fichiers pour conserver le bon niveau de détails.

La solution choisie est la conversion de tous les fichiers en 3dxml (format de données développé par Dassault System utilisable sans licence payante) en passant par Digital Project puis l'assemblage des fichiers dans Digital Project et la création un 3dxml à chaque niveau d'assemblage.

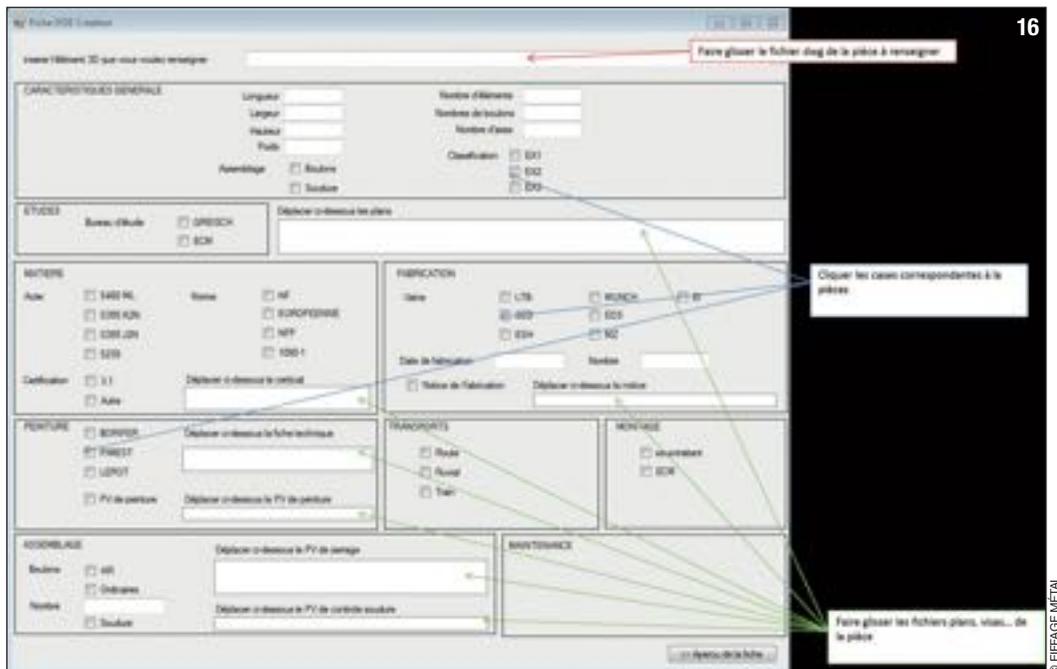
**1 pièce = 1 fichier « dwg »
+ 1 fiche technique PDF
+ 1 ligne dans la base de données
+ 1 fichier 3Dxml**

Des accès sécurisés sont intégrés (données globales accessibles à tous ou données spécifiques à accès restreint). Les éléments peuvent être sélectionnés directement dans le modèle 3D ou avec des filtres qui permettent de rechercher des éléments ou des familles d'éléments.

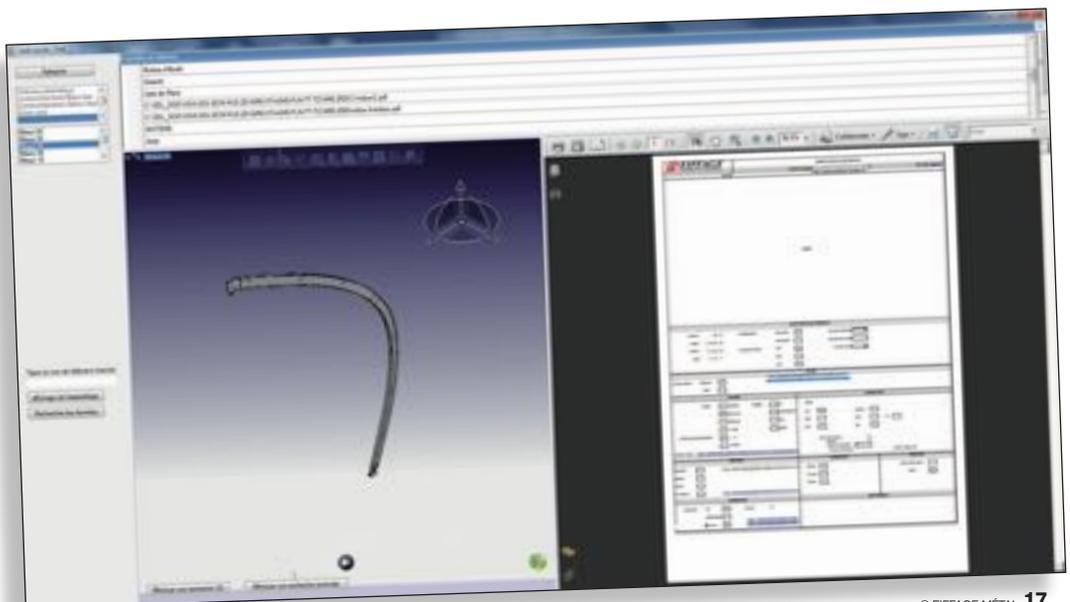
Voir la figure 17 pour un exemple de résultat de la recherche d'un élément. Tous les outils décrits ci-avant ont été développés uniquement sur une partie du stade (figure 18), et n'ont pas été généralisés sur l'ensemble du projet pour des raisons budgétaires. Il faut se



15 © EIFFAGE MÉTAL



16 © EIFFAGE MÉTAL



17 © EIFFAGE MÉTAL

15- Vue modèle DOE.

16- Fiche technique unitaire.

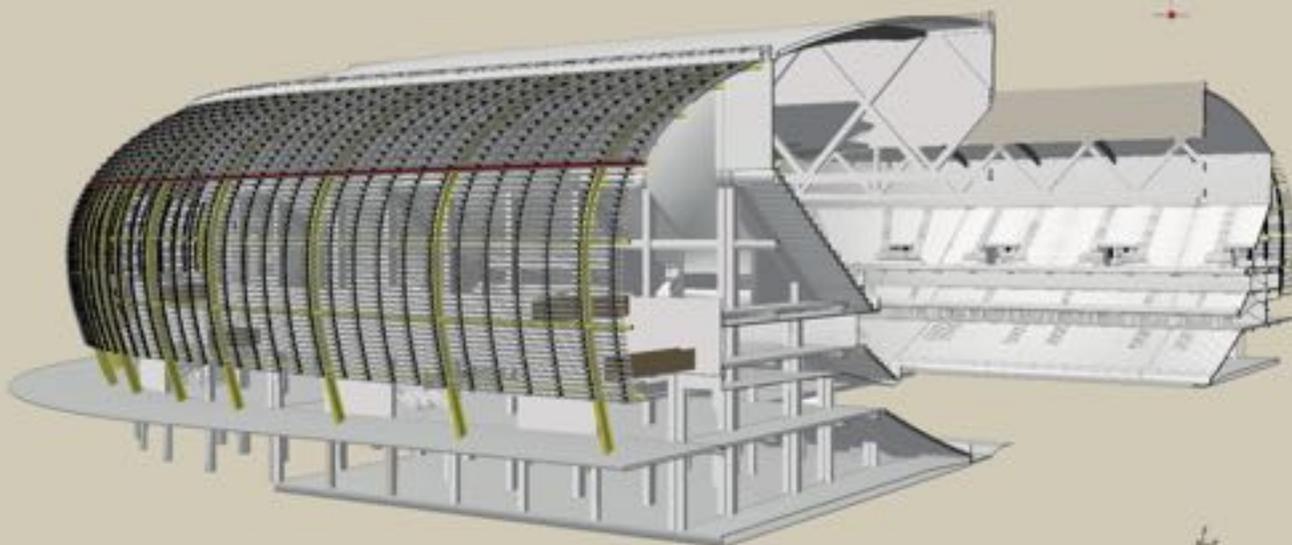
17- Recherche d'un élément de la base de donnée.

15- As-built file model view.

16- Unit technical data sheet.

17- Search for an item in the database.

MODÈLE DOE



© EIFFAGE MÉTAL

18

rappeler que les études de conception ont commencé en 2008, année des premiers balbutiements de la maquette numérique en France. L'expérience DOE du stade Pierre Mauroy a été menée en fin de projet. Cependant, même à l'état de prototype, la puissance d'un tel outil s'est avérée évidente.

La construction d'un DOE numérique est à prévoir au démarrage de la maquette numérique, lors de la phase de définition des usages et des process, dès la phase de conception.

CONCLUSION

Par son approche industrielle, Eiffage Construction Métallique s'appuie couramment sur la conception 3D pour ses études d'exécution.

18- Modèle DOE.

18- As-built file model.

La révolution actuelle vient de l'intégration de la maquette numérique dans toutes les phases du projet, de la conception au montage, en passant par la fabrication mais aussi la maintenance de l'ouvrage avec le DOE numérique.

Cette démarche s'applique aux structures et enveloppes complexes comme aux systèmes mécaniques. □

INTERVENANTS

GROUPEMENT CONCEPTEUR CONSTRUCTEUR, MANDATAIRE :
Eiffage TP, cotraitant responsable de la charpente métallique et de la couverture : Eiffage Construction Métallique

ARCHITECTES : Valode et Pistre Architectes, associé à Pierre Ferret, Atelier d'Architecture

BUREAU D'ÉTUDES CONCEPTION INITIALE TOITURE FIXE : Arcora

BUREAU D'ÉTUDES DÉVELOPPEMENT CONCEPTION ET EXÉCUTION TOITURE FIXE : BE Greisch

BUREAUX D'ÉTUDES CONCEPTION ET EXÉCUTION TOITURE MOBILE Y COMPRIS MÉCANIQUE : Eiffage Construction Métallique

BUREAU DE CONTRÔLE : Socotec

CONSULTANT 3D : Gehry Technologies

ABSTRACT

PIERRE MAUROY STADIUM IN LILLE - COMPUTER MODELLING AS AN AID TOOL FOR DESIGN, MANUFACTURING AND INSTALLATION OF THE FACADE - ESTABLISHING A DIGITAL AS-BUILT FILE

VALÉRIE BONIFACE & CONSTANCE DE BATZ - EIFFAGE

The shell of Pierre Mauroy Stadium in Lille, on top of the stadium's infrastructure, is a flat pebble-shaped steel structure, covered on its facades by a combined system of polycarbonate plates and tubes. This article describes how computer modelling was used for the design, manufacture and installation of the steel and polycarbonate members through the use of a collaborative parametric database. This work, originally limited to the facade object, provided an opportunity to experiment and establish the grid of a digital as-built file for all the parts of the stadium's roof covering. □

ESTADIO PIERRE MAUROY EN LILLE - LA MAQUETA DIGITAL COMO HERRAMIENTA DE AYUDA PARA EL DISEÑO, LA FABRICACIÓN Y LA INSTALACIÓN DE LA FACHADA - CONSTRUCCIÓN DE UN DOE DIGITAL

VALÉRIE BONIFACE & CONSTANCE DE BATZ - EIFFAGE

La envoltura del Estadio Pierre Mauroy de Lille, que viste la infraestructura del recinto, es una estructura metálica en forma de guijarro plano, recubierta en sus fachadas por un sistema combinado de placas y tubos de policarbonato. El objeto de este artículo es describir cómo la maqueta digital ha contribuido al diseño, la fabricación y la instalación de los elementos de acero y de policarbonato utilizando una base de datos paramétrica colaborativa. Este trabajo, inicialmente limitado al objeto fachada, ha brindado la ocasión de experimentar y crear la trama de un DOE digital para todos los elementos de la cubierta del estadio. □



1
© XTU ARCHITECTES

LE BIM ASSISTE LA CITÉ DES CIVILISATIONS DU VIN

AUTEURS : CAROLINE RÉMINY, DIRECTRICE I-TECH (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - JOFFREY VENANT, CHARGÉ DE PROJET, I-TECH 3D - AURÉLIEN BLANC, DESIGNER, AUR BLANC - HERVÉ DYSCLIN, BIM MANAGER, DD SUD-OUEST, VINCI CONSTRUCTION FRANCE

LA FUTURE CITÉ DES CIVILISATIONS DU VIN DANS LA VILLE DE BORDEAUX SE DISTINGUE PAR SA FORME AUX COURBES AUDACIEUSES. IMAGINÉE PAR LES ARCHITECTES DE L'AGENCE XTU, ANOUK LEGENDRE ET NICOLAS DESMAZIÈRES, ELLE ÉVOQUE L'ÂME DU VIN, SON MOUVEMENT CIRCULAIRE QUAND IL S'ÉCOULE DANS UN VERRE. LE BIM A ÉTÉ NÉCESSAIRE EN PHASE CONCEPTION, DÈS LE DIALOGUE COMPÉTITIF, PUIS EN PHASE CONSTRUCTION, POUR PERMETTRE LA RÉALISATION DE CE PROJET PARTICULIER.

LE SITE

La future Cité des Civilisations du Vin a pour ambition de devenir un lieu d'excellence emblématique et une véritable porte d'entrée vers le vignoble bordelais. Elle poursuit ainsi un objectif économique (soutien et promotion de la filière), touristique (développement de l'œnotourisme) et culturel. L'ouverture des portes est prévue début 2016. Le projet occupe le site des anciennes forges du Grand Port Maritime de Bordeaux, au bord de la Garonne, dans le quartier des Bassins-à-flot. En contact direct avec le fleuve, bénéficiant d'une bonne accessibilité (tramway, rocade, pont Chaban-Delmas), la Cité des Civilisations du Vin se distingue par son architecture à forte visibilité (figure 1).

LE PROJET

Le 17 avril 2013, le groupement comprenant Vinci Construction France et ses filiales Gtm Bâtiment Aquitaine, Caillaud Lamellé Collé et Fargeot Lamellé Collé

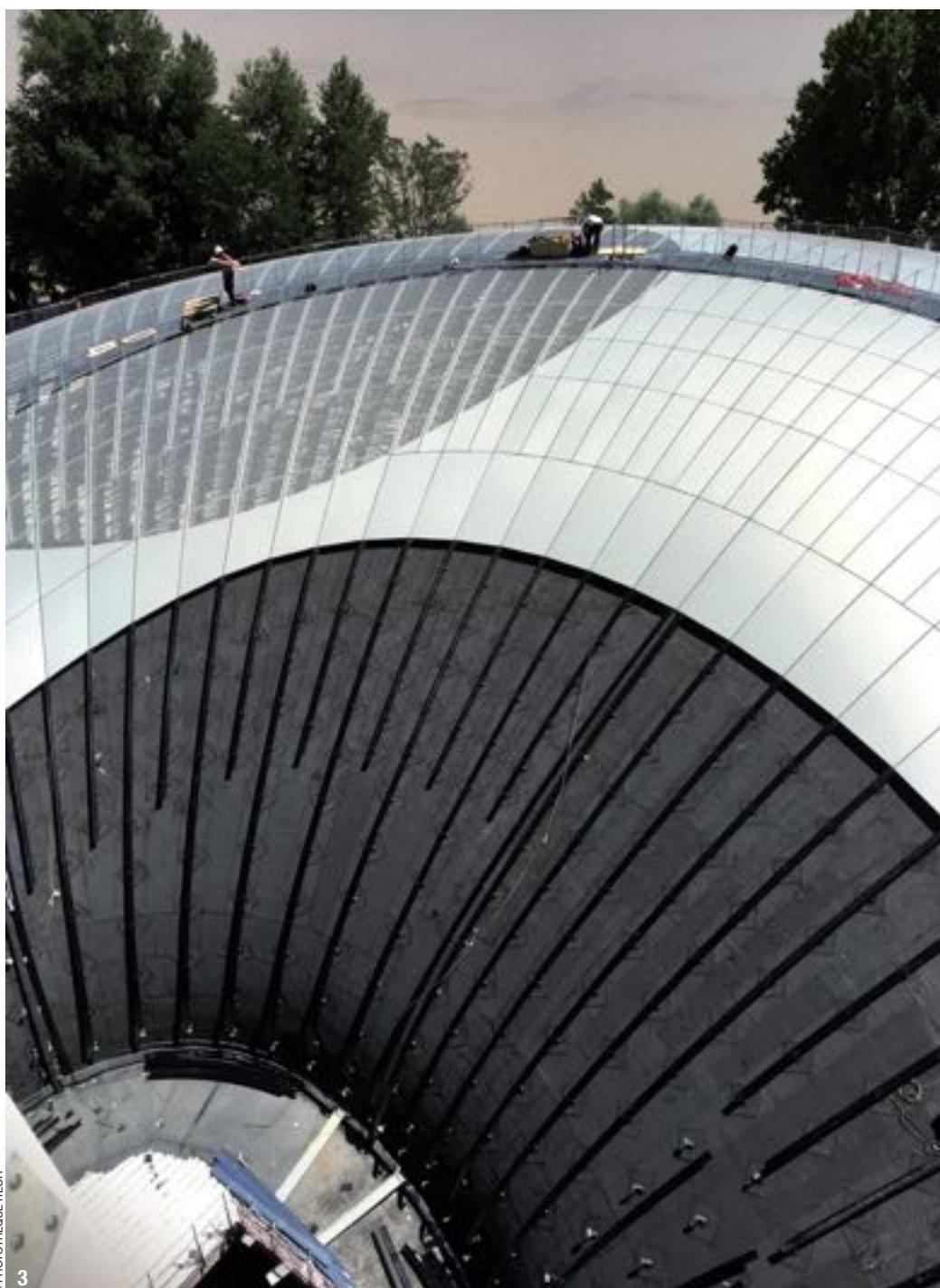


2
© PHOTOTHÈQUE ITECH

1- Perspective du projet.
2- Réglage d'une chandelle.

1- Perspective view of the project.
2- Adjusting a jack stand.

(sociétés d'Arbonis) a remporté le marché du clos-couvert pour la Cité des Civilisations du Vin dans le quartier des Bassins-à-flot à Bordeaux. Les travaux comprennent les fondations, le gros œuvre, la charpente en lamellé-collé, la couverture, l'étanchéité, les façades et la vêtue. L'ouvrage de 11 165 m², conçu par l'architecte Anouk Legendre, se caractérise par sa forme singulière et s'élèvera jusqu'à 50 m de hauteur. Le bâtiment, polyvalent, est prévu pour accueillir 500 000 visiteurs par an.



3- Vue panneau vêtire.

3- View of an insulating panel.

La Cité des Civilisations du Vin entretiendra des liens étroits avec des experts scientifiques et le monde économique.

Cette rondeur transcrite par la forme extérieure du bâtiment se retrouve aussi dans les volumes, les espaces et les matériaux intérieurs. Les reflets dorés de la Cité des Civilisations du Vin évoquent les pierres blondes des façades bordelaises. Sa façade est constituée de panneaux de verre sérigraphiés et de panneaux d'aluminium laqué irisé perforés.

Destiné à accueillir les visiteurs à partir du printemps 2016, l'ouvrage final, placé à proximité du pont Chaban-Delmas, proposera : un centre culturel, un musée, un restaurant, des boutiques et des bureaux.

Véritable facilitateur, la maquette numérique a d'abord permis de modéliser l'ouvrage en 3D. Elle a aussi permis d'évaluer combien la forme courbe et complexe souhaitée pour le bâtiment exposé au vent nécessitait un travail d'adaptation pour être réalisable.

La façade du clos-couvert et du tore est composée d'une façade toiture continue en verre et métal. Elle est supportée par des chandeliers portant sur une structure en bois lamellé-collé. Elle est couverte d'un manteau isolant et d'étanchéité. Le tout formant des courbes complexes et irrégulières.

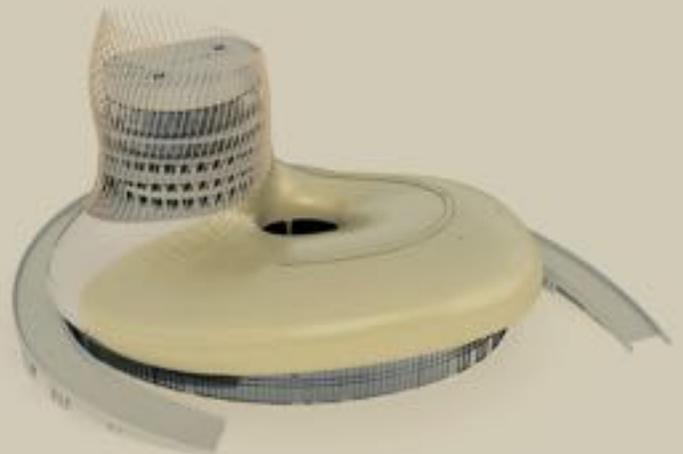
La tour, quant à elle, a une façade traditionnelle doublée d'une façade à facettes de panneaux de verre tenus à des poteaux gauches en bois lamellé-collé.

MODÈLE 3D GROS ŒUVRE



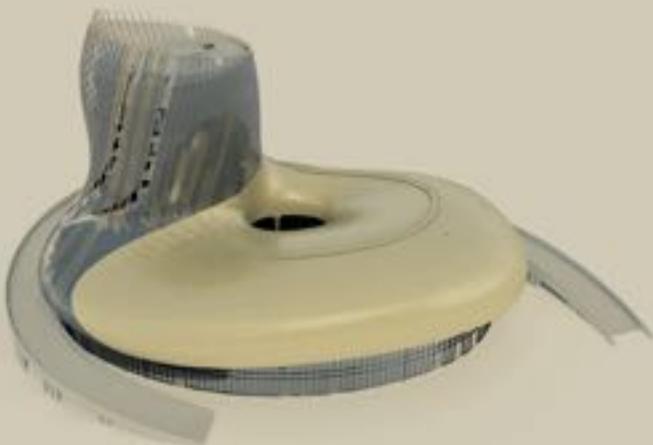
4

MODÈLE 3D COUVERTURE



5

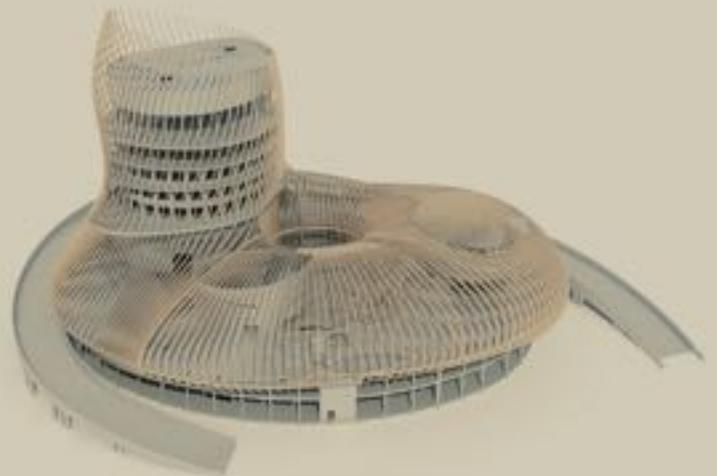
MODÈLE 3D COMPLET



6

© ITECH

MODÈLE 3D CHARPENTE



7

© ITECH

Chaque pièce qui compose la façade-couverture est unique. Imbriquer les panneaux les uns aux autres, avec des matériaux de tailles et de formes différentes, nécessite une réflexion prenant en compte en amont la fabrication, avec un maximum de précision. Seul le BIM le permettait (figures 2 et 3).

CONTEXTE ORGANISATIONNEL

Ce projet aux formes géométriques très particulières a nécessité le déploiement d'un modèle numérique. Il s'est avéré utile pour bien appréhender l'assemblage des différentes couches qui constituent l'ouvrage, concernant la partie clos-couvert (noyau béton, charpente bois, enveloppe et menuiseries extérieures).

Il a également permis, lors des réunions de synthèse du groupement, de détecter et d'analyser des problèmes d'in-

terface ou d'incohérence très localisés. La représentation de l'ensemble des éléments de fixation entre les pièces a apporté un niveau de compréhension motivant pour la productivité des équipes (figures 4, 5, 6 et 7).

Plusieurs principes ont guidé la construction de ce modèle :

- Le découpage en zones (tour, parking, rampe pompier, tore est, sud, ouest, interface tour et tore) ;
- Le découpage du projet par niveau (des fondations et du dallage au R+10) ;
- 3 modèles de référence : le modèle de l'enveloppe architecturale avec des surfaces de référence, le modèle du calepinage primaire et secondaire des verres, le modèle de la composition de l'enveloppe.

Le BIM manager au sein des équipes-constructeurs a assemblé les modèles

4- Modèle 3D Gros Œuvre.

5- Modèle 3D Couverture.

6- Modèle 3D Complet.

7- Modèle 3D Charpente.

4- 3D model, building fabric.

5- 3D model, roof covering.

6- 3D model, complete.

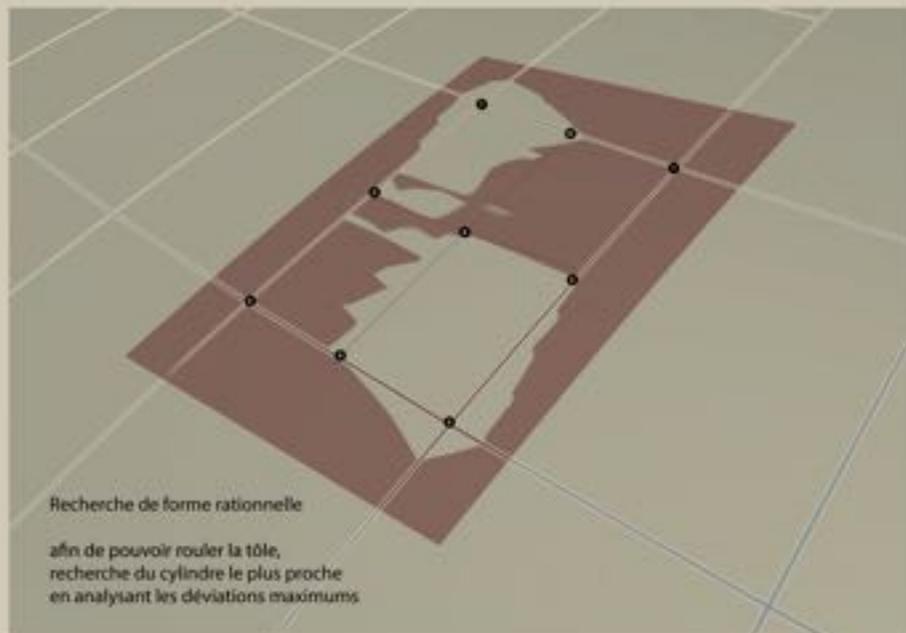
7- 3D model, structure.

des différents lots et réalisé un rapport d'analyse des clashes pour guider les bureaux d'études des entreprises à faire évoluer leurs études (figure 8). Ainsi, Les équipes I-Tech 3D ont résolu grâce au BIM trois problématiques techniques :

1. Concevoir une forme optimisée du verre et de certains éléments de charpente bois, en intégrant une logique de design industriel. Intégrer dans le modèle BIM des paramètres de fabrication, d'usinage, de pose et d'utilisation, tous aussi importants que les paramètres géométriques et structurels plus habituels dans une démarche BIM.

Il s'agit réellement de revoir le management de la coordination études/travaux ; non pas uniquement du fait de l'intégration de l'outil BIM, mais surtout

SURFACE DÉVELOPPABLE



Recherche de forme rationnelle
afin de pouvoir rouler la tôle,
recherche du cylindre le plus proche
en analysant les déviations maximums

© AURBLANC DESIGN

8

du fait de l'intégration d'une logique de design industriel couplée à celle du constructeur.

L'optimisation paramétrique de formes en conception : quand le designer ren-contre le constructeur.

L'optimisation de formes passe par une analyse de la mise en œuvre de la pièce, de son matériau, des procédés

8- Surface développable.

9- Pièce de test imprimée en 3D.

8- Developable surface.

9- 3D-printed test piece.

de fabrication et de ses contraintes dimensionnelles.

Le métier du designer industriel ne se limite pas à l'esthétique.

Il apporte une réflexion plus globale sur un projet.

Il intervient dans la conception, l'industrialisation, le mode de pose et l'utilisation.

Un projet architectural tel que celui du CCV nécessite une réflexion sur la fabrication des différentes pièces, sur leur rationalisation géométrique, mais aussi leur fabrication en série.

Sans oublier la prise en compte de la pose, des modes constructifs et, enfin, de l'exploitation du bâtiment par ses futurs occupants (ERP ou site industriel).

Dès la conception, tout doit être pris en compte : la complexité, l'optimisation de la mise en œuvre pour améliorer la sécurité et les coûts, la gestion d'approvisionnement de matière.

Une fois les contraintes connues, une rationalisation des formes par la géométrie descriptive permet de rendre des formes simples, bien qu'elles soient visuellement complexes.

Par exemple, une chips n'est qu'une portion de cylindre découpé avec une courbe gauche.

Elle reste cependant développable, donc facile à mettre en production sur des machines-outils type CNC.

Du fait de la libéralisation des formes architecturales complexes avec l'emploi des logiciels 3D par les architectes, la question de former, ou recruter, des BIM managers issus des secteurs du design industriel dans la construction se pose.

Le développement des logiques de rationalisation et d'organisation sur les chantiers afin d'aider à tirer profit des démarches de *lean management*

notamment, très présentes dans les pays anglo-saxons, est connue.

La question de savoir si le BIM pourrait être vu comme un outil de celles-ci, et le design par le BIM aussi, mérite d'être posée.

Le design est un métier transversal. Il permet de relier différents corps de métier et d'en comprendre chaque contrainte, pour diriger dans le bon sens chaque intervenant. Il s'appuie aussi sur de solides bases techniques d'industrialisation et de gestions de contraintes.

2. Définir un process pour une démarche BIM comme celle-ci, allant de la synthèse 3D des études d'exécution à l'optimisation de formes, à la fabrication au prototypage de pièces, pour finir à l'implantation sur site.

L'issue de ces réunions de synthèse, préconisant des solutions techniques avec des modélisations précises, a permis d'initier des prototypes en impressions 3D de certaines fixations spécifiques, en lien avec les usines de fabrication des lots enveloppe verre et charpente bois.

PIÈCE DE TEST IMPRIMÉE EN 3D



Pièce imprimée

Pièce de test mécanique sur LISSE

Impression de pièce mécanique pour simuler le cintrage et la vrille de la lisse pour en connaître ces limites.



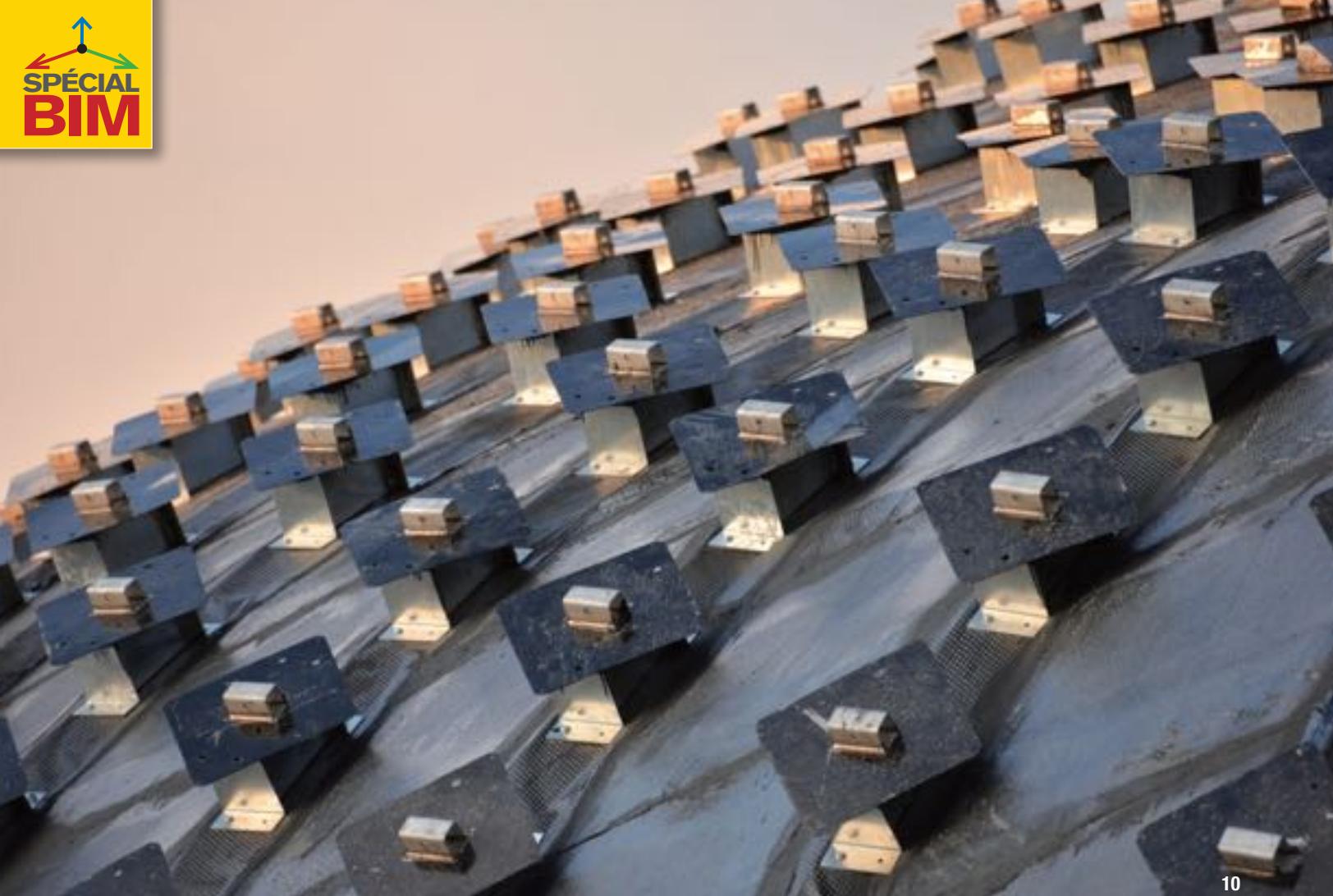
Principe de TEST



Modèle 3D identique pour les 4 réglages

© AURBLANC DESIGN

9



10

© PHOTO THÉQUE ITECH

Ces réunions de synthèse ont ainsi non seulement regroupé les acteurs traditionnels MOA, MOE et bureaux d'études constructeurs, mais également des fabricants, autour du modèle BIM et des impressions 3D (figure 9).

Étape 1 : Optimisation et programmation

La réalisation de la vêtture est un des éléments les plus complexes de la Cité des Civilisations du Vin. En effet, il faut réussir à représenter le désir architectural de forme complexe avec des panneaux métalliques de formes simples. Les fabricants imposent leurs contraintes liées principalement aux machines. Ces contraintes complexifient d'autant plus les études de réalisation de la vêtture (dimensions et cintrage des panneaux, renforts, etc.).

C'est pourquoi, il a fallu optimiser les panneaux en métal et programmer la vêtture en entrant les contraintes de forme exigées par la MOE, mais aussi celles des fabricants.

De plus, la création d'un logiciel de lecture de code barre permet de connaître en temps réel, pour les panneaux métal, l'état de la pièce en question, si elle est en fabrication, expédiée, livrée, posée ou défectueuse.

Étape 2 : précision de la modélisation des pièces et envoi en fabrication

Chaque pièce est modélisée à partir de la maquette 3D études (dite « théorique »). La précision est de l'ordre de 1/10 mm.

Les pièces réalisées au travers de la maquette 3D sont référencées avec un code unique. Il permet de connaître à tout moment le type de pièce, la quantité, les plans de fabrication en 2D avant envoi au sous-traitant.

La modélisation de toutes les pièces permet également un contrôle des collisions entre objets. Elle permet aussi les modifications nécessaires avant envoi des plans de pose sur chantier.

Étape 3 : Réception des arcs / scan 3D et pose

Afin de répondre à la précision relative à l'exécution sur chantier, il est nécessaire de réceptionner les supports (arcs bois) avec la plus grande précision. Il s'agit ainsi de pallier les écarts entre les études (le modèle 3D « théorique ») et la réalité de la pose sur le terrain. La réception du support a été réalisée en scan 3D par un scanner laser Focus 3D, le traitement par la programmation Grass Hopper sous Rhinocéros 3D. Le traitement facilite la sortie automatique des graphiques de réception des arcs dans leur tolérance. Ce travail permet de pouvoir contrôler et rectifier la position des arcs (X, Y et Z) afin d'assurer une

10- Supports de couverture.

10- Roof covering supports.

réalisation sur le chantier au plus proche du modèle 3D études (théorique) (figure 10).

La production des éléments de la structure, qui n'est pas réalisable sur site, est optimisée avec un principe d'étiquetage « code barre et scan » pour une parfaite coordination sur le terrain. Résultat : moins de manipulations et donc de risques sur le chantier (figures 11 et 12).

3. Quand l'impression 3D vient répondre au besoin du prototypage de pièces uniques, très technique, pour limiter les risques de conception, diminuer les coûts et réduire les délais de fabrication.

L'outillage numérique à disposition progresse vite. Comme l'impression 3D pour le prototypage de ces éléments spécifiques et, notamment, pour en ajuster la fabrication en série.

Plus précisément, l'exemple d'une coque de forme organique à double courbure est explicite. Dans le cadre de sa mission, I-Tech a dû la rendre réalisable par un matériau composite

qui n'accepte que du découpage et du roulage. Ces panneaux respectent des contraintes mécaniques. Le travail sur la développabilité a pris en compte des renforts, le sens de laquage et sa manutention. La coque ayant des rayons variables, la structure a dû absorber ces variations consécutives. Par la CAO et la programmation, tous les paramètres ont été intégrés afin de sortir une nomenclature précise pour les commandes et des plans de pose détaillés pour les compagnons. Mais vérifier la forme dans le réel par une impression 3D et d'en simuler le montage grandeur nature comporte des avantages techniques, économiques et de délais.

CONCLUSION

Bénéfices technico-économiques :

→ Des bénéfices financiers : l'optimisation de formes et la rationalisation des pièces permettent l'économie d'échelle de la fabrication en série. Les impressions 3D sont moins onéreuses que des prototypes. Nous pouvons parler de double bénéfice financier : dans la méthodologie d'ingénierie employée sur ce chantier et dans ses outils.

→ Des bénéfices en termes de délai : cette démarche d'optimisation de formes via Grasshopper et la programmation associée sont plus rapides que les simulations classiques 2D.

PIÈCE DE MESURE POUR GÉOMÈTRE



11

PIÈCE DE RÉGLAGE DU BERCEAU



12

L'impression 3D, en quelques minutes, est aussi plus rapide que la réalisation d'un prototype. Elle permet d'évoquer un autre bénéfice technique.

En effet, le caractère économique et rapide des prototypes d'impression 3D repousse les essais techniques et les démultiplie.

Les équipes chantier évaluent, rien que pour la charpente, à environ cinq fois moins de temps pour la partie études et quinze fois moins pour ce qui concerne la phase de fabrication des pièces. Certes un tel ouvrage aurait pu être fait avec une méthodologie moins avancée, mais le respect des délais et une telle exigence de précision à la pose auraient été impossibles. Les équipes de la Smac en ont témoigné. Vérification, dialogue et prise de déci-

11- Pièce de mesure pour géomètre.

12- Pièce de réglage du berceau.

11- Measuring part for surveyor.

12- Cradle adjustment part.

sion en amont du chantier, partage et interopérabilité des modèles 3D, pilotage de la fabrication, à tous les niveaux, le choix des logiciels BIM IFC s'est révélé concluant. □

DONNÉES PRINCIPALES DU PROJET

OBJET DU CHANTIER : Cité des Civilisations du Vin (clos-couvert comprenant : fondations, gros œuvre, charpente en lamellé-collé, couverture, étanchéité, façade et vêtüre)

DURÉE DU CHANTIER : octobre 2013-avril 2016

SURFACE TOTALE : 11 165 m²

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Ville de Bordeaux, Lordculture

ARCHITECTE : X-TU

ENTREPRISES : Gtm - Sidf (gros œuvre), Caillaud Lamellé-Collé et Fargeot (charpente en bois), SMAC (vêtüre métallique), Coveris (vêtüre verre), Garrigues (menuiserie externes)

LOGICIELS UTILISÉS : Tekla, Revit, Rhino, cadwork, Bimsight, Grasshopper, etc

COÛT GLOBAL : 130 millions d'euros (28,2 millions d'euros pour le lot concerné)

ABSTRACT

BIM ASSISTS THE CITÉ DES CIVILISATIONS DU VIN

CAROLINE RÉMINY, I-TECH (VINCI) - JOFFREY VENANT, I-TECH 3D - AURÉLIEN BLANC, AUR BLANC - HERVÉ DYSCLIN, VINCI

The complex curved shape of Cité des Civilisations du Vin in Bordeaux, designed by the X-TU agency, presented the designers/builders with a real technical challenge. BIM played a decisive role, especially in modelling one-off parts and in its ability to meet the high precision requirements. Each member was modelled with millimetric precision, even to within 1/10 mm for some parts, based on the common model. 3D printing prototypes were also produced in order to reduce costs and times for prototype validation by the project manager. □

EL BIM ASISTE A LA CIUDAD DE LAS CIVILIZACIONES DEL VINO

CAROLINE RÉMINY, I-TECH (VINCI) - JOFFREY VENANT, I-TECH 3D - AURÉLIEN BLANC, AUR BLANC - HERVÉ DYSCLIN, VINCI

Diseñada por la agencia X-TU, la compleja forma curva de la Ciudad de las Civilizaciones del Vino de Burdeos ha supuesto un extraordinario desafío técnico para sus diseñadores y constructores. El BIM ha desempeñado un papel determinante en dicha labor, en particular en la modelización de las piezas exclusivas y gracias a su capacidad para responder a las exigencias de alta precisión. De este modo, cada elemento se ha modelizado al milímetro –incluso al 1/10 mm para algunas piezas– sobre la base de la maqueta común. También se han realizado prototipos en impresión 3D para reducir los costes y el plazo de validación de los prototipos por parte del Ministerio de Medio Ambiente. □



1

© BERGER & ANZIUTTI ARCHITECTE

CANOPÉE DES HALLES À PARIS : BIM MANAGEMENT ET INGÉNIERIE

AUTEURS : CAROLINE RÉMINY, DIRECTRICE I-TECH - CHRISTOPHE KOPEC, BIM MANAGER I-TECH 3D - RÉDA CHAFFI, DIRECTEUR PROJET POUR LES ENTREPRISES CMC/SOGEA TPI/GTM TP, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - PASCAL GODON, DIRECTEUR TECHNIQUE CHANTIERS MODERNES CONSTRUCTION, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - M. TEUSHL, PBJA.

LANCÉ EN 2012, LE PROJET DE LA CANOPÉE SYMBOLISE LA RÉNOVATION DU QUARTIER DES HALLES DE PARIS. DESSINÉ PAR PIERRE BERGER ET JACQUES ANZIUTTI, IL SE CARACTÉRISE TOUT PARTICULIÈREMENT PAR SON TOIT, CETTE GIGANTESQUE ENVELOPPE MÉTALLIQUE COMPOSÉE D'UNE MYRIADE D'ÉCAILLES DE VERRE. CELLE-CI VIENT COIFFER DEUX BÂTIMENTS DÉDIÉS AU COMMERCE ET À LA CULTURE. UN TOUR DE FORCE TECHNIQUE QUI, DE SA CONCEPTION À SA RÉALISATION, A DÉMONTRÉ LE CARACTÈRE INCONTOURNABLE DU BIM EN MATIÈRE DE MANAGEMENT DE PROJET.



2

© PAVEL KRIOK

LE SITE

Un site chargé d'histoire, mais également très achalandé avec près de 150 000 visiteurs par jour. Alors que cette rénovation du Forum des Halles s'inscrit dans un plan de renouvellement plus large du quartier qui concerne les voiries souterraines et la gare de Châtelet-les-Halles, la problématique des interfaces entre les lots de travaux s'ajoute, dans ce contexte, à la complexité de l'ouvrage (figure 2).

LE PROJET

Dessinée par les architectes français Pierre Berger et Jacques Anziutti, la forme du toit de la Canopée se distingue par son audace (figure 1). D'inspiration végétale, elle représente une canopée arborée, laissant traverser la lumière. Cet ouvrage est constitué d'une charpente métallique de 3500 t surplombée d'une canopée composée de 20 000 m² de verre. Son allure impressionnante s'évalue à l'évocation

1- Le nouveau forum des Halles.

2- Le forum des Halles, avant.

1- The new Forum des Halles.

2- Forum des Halles, before.

de ses dimensions : une hauteur de 14,5 m, une portée de 96 m et une surface de 2,5 ha.

Cette Canopée, de couleur ambre, est composée de quinze ventelles en lames de verre.

Ces ventelles se superposent sans se toucher pour constituer une toiture très aérée (figures 3 et 4).

Celle-ci vient ainsi coiffer la gare de Châtelet-les-Halles, la plus grande gare souterraine en Europe.



Le plus grand centre commercial de Paris et deux nouveaux bâtiments conçus pour accueillir un conservatoire de danse et de musique, une bibliothèque, un pôle culturel et de nombreux commerces.

Chaque jour, des milliers de personnes évoluent sur ce site et la sécurité et la durabilité de l'ouvrage en sont les enjeux clés.

LE FORUM DES HALLES

En phase réponse à appel d'offre, l'entreprise Chantiers Modernes Construction qui a piloté les études du groupement Cmc, Sogea Tpi et Gtm Tp a dû s'approprier l'architecture atypique de cet ouvrage dans un délai court, celui des études, soit en moins de 2 mois. Un viewer 3D du projet, permettant de

mieux appréhender l'intention architecturale de la maîtrise d'oeuvre, avait été transmis dans l'Appel d'Offre.

Deux objectifs principaux de la création d'une maquette numérique pendant cette phase de réponse à AO, pour les équipes en charge des études de prix :

→ Comprendre la structure et le comportement de l'ouvrage pour les différents lots : charpente primaire, secondaire, verre et béton, pour un meilleur management des études de pré-dimensionnement ;

→ Proposer une variante méthodologique de réalisation pour sécuriser au maximum celle de la Canopée sur les deux bâtiments.

Le groupement constructeur a fait le choix, dès la phase réponse à appel d'offre, de lancer la modélisation multi-logiciels de la Canopée, avec la coordination du Bim Management I-Tech3D. Cette modélisation était avant tout une modélisation des gabarits et des profils. L'entreprise Seele pour le verre de la sur-toiture des bâtiments et Viry pour le verre de la Canopée sous les logiciels

Rhinoceros et Grasshopper ; Castel pour la charpente métallique sous Tekla et 3D pour les façades des bâtiments et les ouvrages béton sous Revit.

L'ensemble de ces modélisations a été réuni sous Rhinocéros pour compilation et analyse (figures 5 et 6).

C'est à partir de cette maquette numérique de pré-dimensionnement que les simulations d'assemblage, de pose, de montage et de fixation ont pu commencer, dès la phase de réponse à appel d'offre.

Et c'est bien entendu dans le contexte urbain du site que certaines simulations ont dû être appréhendées.

Elles ont intégré ainsi les flux des riverains, des véhicules, des engins de chantier et des ouvriers dans la 3D. L'aspect sécuritaire était l'un des enjeux premiers des équipes études. Il a accompagné le travail d'installation des 3500 t de charpente métallique et 20000 m² de verre, à 14,5 m du sol avec plusieurs centaines de milliers de visiteurs du Forum des Halles dans les étages souterrains.

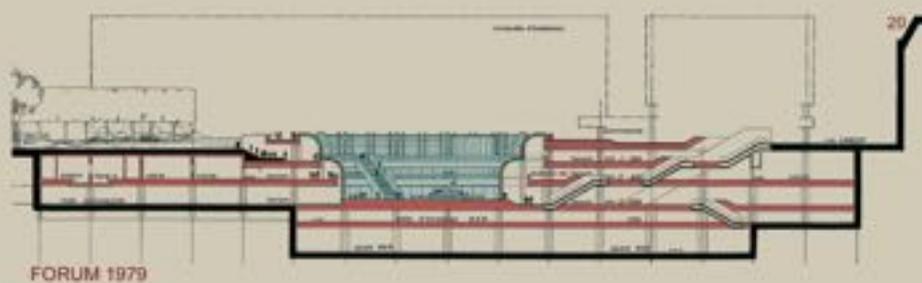
3- Coupe du site, avant.

4- Coupe du site, après.

3- Cross section of the site, before.

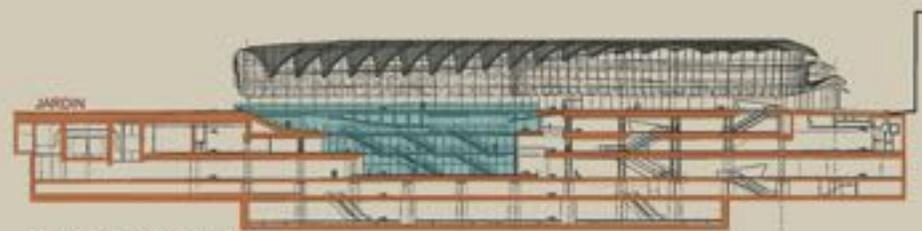
4- Cross section of the site, after.

COUPE DU SITE, AVANT



3

COUPE DU SITE, APRÈS



4

LE PROJET EN PHASE EXÉCUTION

Deux maquettes numériques ont évolué lors des études d'exécution du projet. La première, la maquette architecturale, des équipes Pierre Berger et Anziutti et de la maîtrise d'œuvre ingénierie Pbj, est dite *model intent*. La seconde, la maquette numérique constructeurs a réuni l'ensemble des maquettes des différents corps d'état (figure 7).

Des réunions mensuelles ont permis de confronter ces deux maquettes sur la base d'un rapport d'analyse des incohérences réalisé par Pbj.

Ce rapport était réalisé entre chaque réunion et complété par le BIM management constructeur I-Tech3D ainsi que la Direction technique du chantier : 1- vérifier que la maquette construction respecte le gabarit de la maquette architecturale ; 2- synthèse technique et architecturale, clos et couvert.

Cette dynamique de travail collaboratif s'est déroulée sur près de 2 ans, ▽

permettant ainsi de résoudre les différentes problématiques. Les enjeux majeurs de cette collaboration peuvent être repris à travers les différents points suivants :

PROBLÉMATIQUES TECHNIQUES ET/OU ORGANISATIONNELLES RÉSOLUES GRÂCE AU BIM :

Travail collaboratif et coordination des différents corps d'état dans le cadre

L'une des difficultés de ce projet, au-delà de la géométrie complexe de l'ouvrage, a été l'interdépendance structurelle des différents corps d'état : charpente métallique (sous le logiciel Tekla), verre de la canopée (sous le logiciel Rhino et Grasshopper), verre de la sur-toiture des bâtiments (sous le logiciel Rhino et Grasshopper), béton (sous le logiciel Revit), façades (sous le logiciel Revit), étanchéité (sous le logiciel Rhino).

L'ensemble des modèles par corps d'état a été rassemblé pour les études de synthèse géométrique, technique et architecturale sous Rhino. Un développement sous Python d'un outil de coupes automatiques a été réalisé par I-Tech3D. Il a généré sur l'ensemble des files du projet une quarantaine de coupes et de plans chartés, chaque mois à partir du modèle BIM tous corps d'état.

Chaque incidence ou changement sur la forme ou l'orientation des verres a contraint à revoir les systèmes de fixation ou les éléments de charpente secondaire ainsi que la conception de l'étanchéité.

Plus précisément, les bâtiments sont constitués de profils reconstitués (PRS) avec des cintrages importants, les planchers sont faits dans un encombrement limité. L'ouvrage de franchissement est composé de caissons périphériques (52 tronçons de 2,6 à 7 m de long) ainsi que de 15 ventelles. Les façades des bâtiments suivent l'alignement des caissons. L'étanchéité suit finement les bacs acier sous les verres selon les contraintes d'une hauteur maximum de 21 cm, malgré les variations d'altitude de la charpente et la contrainte architecturale du verre (figure 8).

Et c'est bien parce que ces bâtiments sont liés à de nombreuses interfaces, celles de couverture et de façades notamment, qu'il ne peut s'agir d'études d'exécution classiques. Chaque élément calculé et dimensionné est interdépendant géométriquement (contraint dans le *model intent*) et structurellement (reprise de charges limitée du fait du



5- Zoom sur une ventelle.

6- Phasage de pose des ventelles.

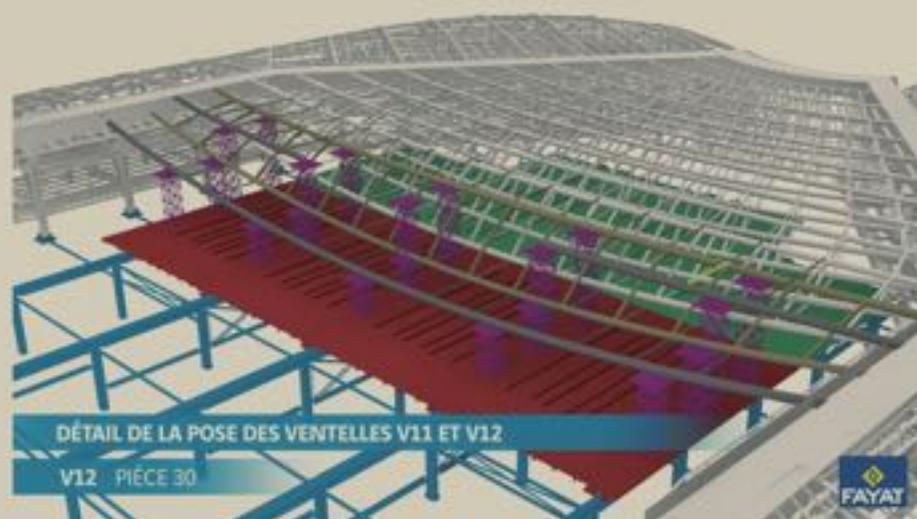
7- La maquette numérique TCE.

5- Close-up view of a louvre.

6- Work sequencing for louvre installation.

7- The TCE (all trades) computer model.

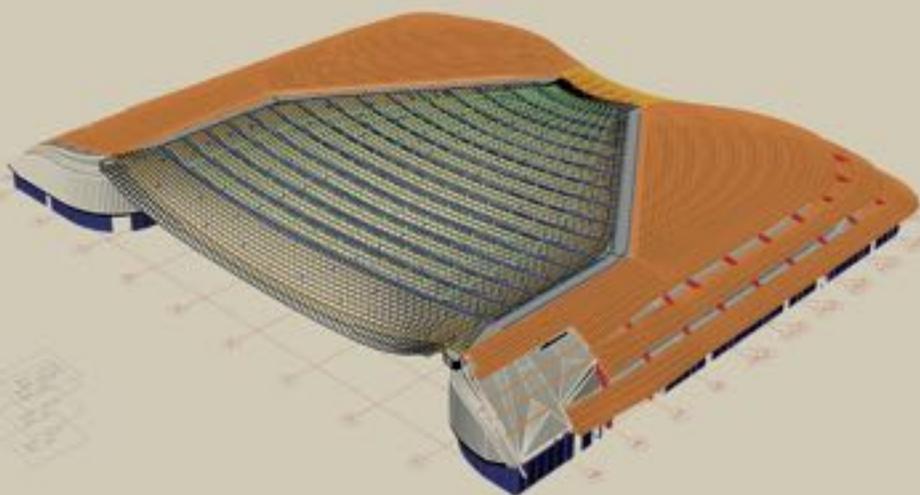
PHASAGE DE POSE DES VENTELLES



6

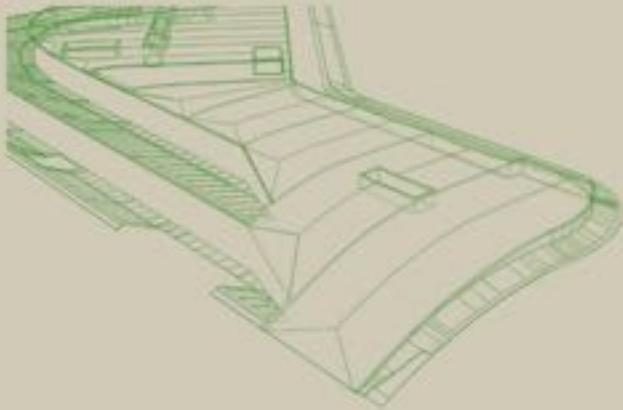
© PHOTO-THÉRIQUE ITECH

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE TCE



7

UNE ÉTANCHÉITÉ SUR MESURE



© PHOTOTHÈQUE ITECH

8

patio et de la gare présents en dessous) de ses interfaces. Il a donc fallu mettre en œuvre pour ces études d'exécution 3 composantes du BIM, à savoir :

- **Le BIM Management**, un management des études outillé et collaboratif autour de la maquette numérique. La présence de celle-ci en réunion technique structure, méthodes, synthèse, clos et couvert, a été indispensable.
- **Le BIM for design**, au sens du *design* qui réunit la conception et la modélisation. La maquette numérique tous corps d'état a permis à plusieurs reprises d'adapter la

8- Une étanchéité sur mesure.

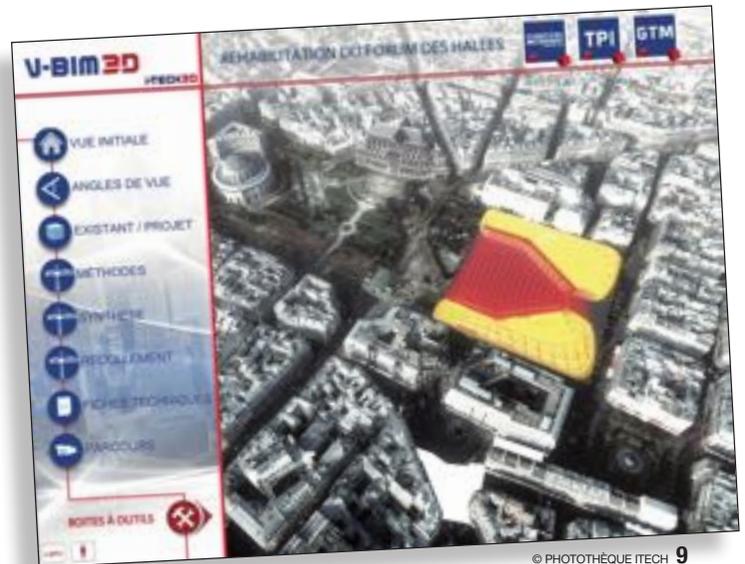
9- La plateforme VBIM.

10- Le suivi de synthèse sur VBIM.

8- Made-to-measure waterproofing.

9- The VBIM platform.

10- Follow-up of synthesis on VBIM.



© PHOTOTHÈQUE ITECH 9

conception d'éléments (une trentaine d'accès de secours, le caisson de rive, les façades) en intégrant la notion des impacts géométriques et structurels sur les autres corps d'état.

- **Le BIM for big data**, ou l'importance de l'architecture de la donnée dès la création d'une maquette pour assurer la durabilité de celle-ci.
- La maquette BIM de la Canopée est la seule archive du chantier reprenant plus de 3 à 4 ans d'études techniques sur le projet. C'est aujourd'hui la seule mémoire des hypothèses et des choix techniques envisagés lors des diffé-

rentes phases du projet. Et ce, malgré les différents intervenants présents sur le projet et leur départ en fin de mission (figures 9 et 10).

Il s'agit bien là d'une démarche BIM, partielle ou totale là n'est pas le sujet. Mais, ce qui a été primordial pour la bonne réussite des études d'exécution de ce chantier, est que l'usage de la maquette chantier a permis d'avoir un modèle unique, enrichissable et accessible par l'ensemble des acteurs du projet (architecte, maîtrise d'œuvre, constructeurs, etc.) pendant près de 3 ans. La plateforme collaborative VBIM, développée par I-Tech3D (mélange d'HTML, de Unity et autres technologies) ; sous la forme d'un simple site internet accessible pour tous et par tous, sans licence, ni formation, ni configuration d'ordinateur spécifique, a bien aidé. VBIM a également permis de retrouver les différentes études de synthèse 3D, mais également de méthodes 3D, issues du modèle BIM tout corps d'état, alimenté en temps réel sur le net.

Méthodes d'exécution 3D sur la Canopée : l'accent mis sur la sécurité

- Méthodologie de réhabilitation du patio et récolement du projet et de l'existant.
- La réhabilitation du patio a consisté en :
- la dépose des façades vasconie, la réhabilitation des accès de secours,
 - en la création de nouveaux planchers pour réduire la trémie du patio,
 - la création de nouveaux locaux commerciaux et la modification des parkings souterrains de la Canopée.

LE SUIVI DE SYNTHÈSE SUR VBIM



© PHOTOTHÈQUE ITECH

10

Ces travaux du patio ont impliqué 2 aspects : celui de la qualité des données, des plans représentant le patio existant mais également, les phasages de démontage des façades vasconie et de montage des ouvrages provisoires (passerelles, clôtures, garde-corps) pour réaliser les travaux en tenant compte d'une exploitation permanente du site.

Aucun jour de fermeture pour cause de travaux n'était prévu.

Il a fallu de ce fait phaser minutieusement les travaux de façon à les réaliser en tenant compte des 150 000 visiteurs par jour qui traverseraient les installations provisoires.

La mise en 3D des existants et du phasage DCE rattaché au planning (4D) a permis de faire une analyse poussée des conflits de tâches et de l'ordonnancement pertinent des différentes tâches. Appréhender en amont des travaux les interactions entre les ouvrages provisoires et les piétons, ou encore entre les ouvrages provisoires et les ouvrages finis était indispensable pour tenir les délais et limiter les risques en termes de sécurité pour les piétons (figures 11, 12 et 13).

→ Méthodologie de pose de platelage et de pose des ventelles.

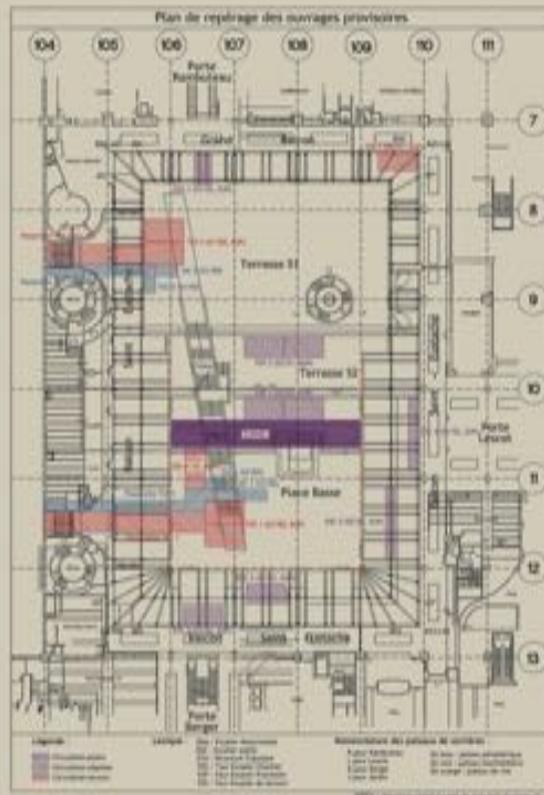
De par la géométrie de l'ouvrage, toutes les pièces de verre et les fixations sont différentes, soit près de 100 000 pièces et accessoires à poser pour réaliser la verrière, à un rythme de moins de deux semaines par ventelle.

Les conditions du site très contraignantes (au cœur de Paris), le risque important et le nombre de visiteurs transitant dans les commerces situés en dessous caractérisent les principales difficultés de cette tâche emblématique qu'est la pose des ventelles.

Il faut également souligner la précision extrême requise pour la pose des verres (tolérances inférieures au 1/1000) sur une structure de très grande dimension et très élevée. Une précision de fabrication très supérieure aux ouvrages habituels s'imposait, avec une contre-flèche importante (750 mm).

Une modélisation très précise du comportement de l'ouvrage par le bureau d'études de l'entreprise Fayat, avec l'aide du logiciel Tekla structures a permis de relever ce défi technique.

PHASAGE DES TRAVAUX DU PATIO



11

© GTM TPI/DF, TPI, CMC, ITECH

11- Phasage des travaux du patio.

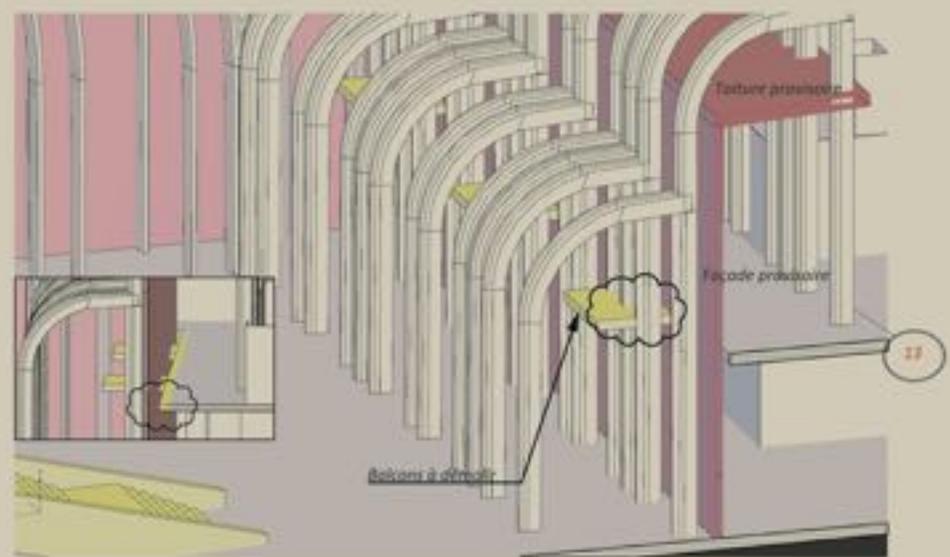
12- Le patio et les façades Vasconie, un phasage 3D pour limiter les interférences dans l'ordonnancement des tâches.

11- Patio work sequencing.

12- The patio and Vasconie facades, 3D sequencing to limit interference in work scheduling.

LE PATIO ET LES FAÇADES VASCONIE

un phasage 3D pour limiter les interférences dans l'ordonnancement des tâches



12

© PHOTOHÉRIQUE ITECH

Les nombreuses simulations de modes opératoires de pose des verres et de pose des ventelles et de montage du platelage réalisées par I-Tech3D, sous les logiciels Revit et Naviswork y ont aussi contribué.

TROIS PRINCIPALES CONTRAINTES SONT RESSORTIES DE CETTE EXPÉRIENCE DE BIM MANAGEMENT SUR LE PROJET DE LA CANOPÉE DES HALLES.

1- La nécessité dès le démarrage des travaux de mettre en place un

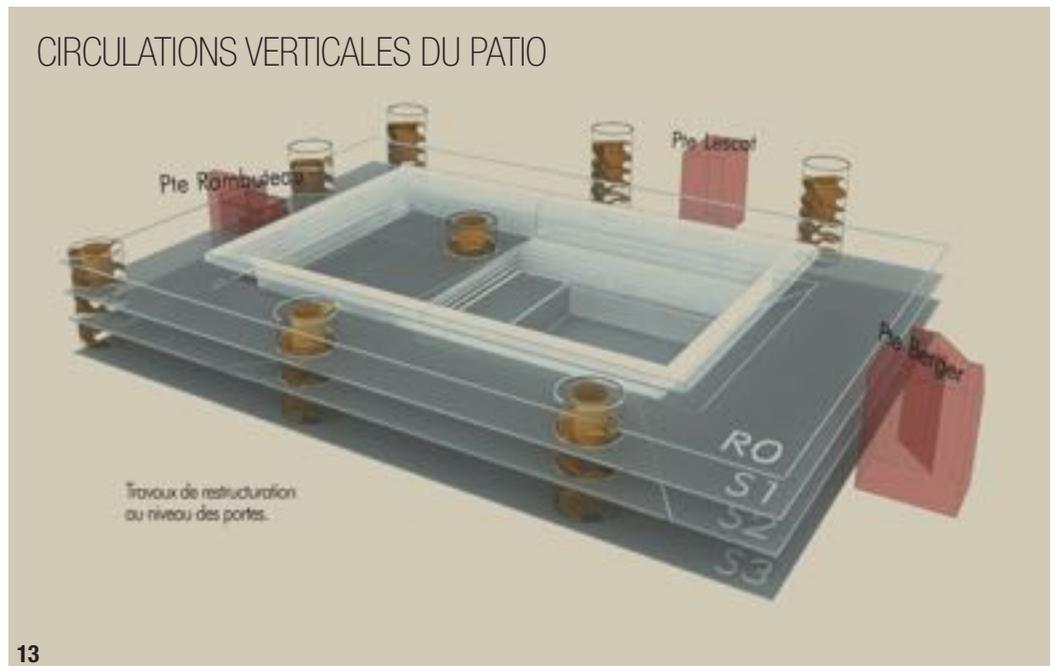
process qui permette de mettre à jour en temps réel le projet BIM théorique et le projet construit. Le risque était d'avoir une maquette numérique « études » qui ne soit pas la représentation fine et juste du construit.

Les technologies de scan 3D ainsi que les relevés des géomètres topographes ont permis, en cours de réalisation, la mise à jour des dimensionnements et des implantations construites.

- 2- L'importance de l'anticipation du poids des fichiers découlant de l'architecture de la donnée doit avoir lieu pour réfléchir aux optimisations du poids des fichiers possibles. L'un des risques de cette non-anticipation est de subir la lourdeur et la lenteur de fichiers BIM qui ralentissent le processus études.
- 3- Des logiciels métiers de calcul et/ou de fabrication qui communiquent encore mal, malgré le format d'échange IFC, avec les logiciels BIM. L'exemple du verre : qu'il soit à simple ou double courbure, comment traiter ce corps d'état avec les logiciels BIM sur le marché afin qu'il s'intègre au mieux à une maquette BIM tous corps d'état ? Certains de ces logiciels métiers ne permettent pas d'extraire de la donnée en format ifc et nécessitent d'utiliser des *plug in*. Ils peuvent ainsi causer un risque de détérioration de la donnée lors de l'utilisation du *plug in* (déformation géométrique, perte de données, ou encore décalage des implantations).

L'ARCHIVE DU CHANTIER - DOE - MAINTENANCE

Au-delà des enjeux classiques de productivité et de qualité, les entreprises de l'ingénierie et du BTP doivent mettre en place des outils collaboratifs. Les équipes doivent en effet échanger, tant en interne qu'en externe, dans une vision de conception/construction mais aussi de maintenance collaborative. De nombreux outils, le plus souvent des plates-formes de gestion de



13
© PHOTOTHÈQUE ITECH

13- Circulations verticales du patio.

13- Vertical openings on the patio.

documents, intègrent de plus en plus la philosophie du *project life cycle management* - idée du cycle de vie globale du projet - et c'est bien ce vers quoi il faut tendre pour que les constructeurs soient en mesure de transmettre à leurs clients des DOE qui les accompagnent au-delà de leur présence sur le chantier. □

DONNÉES PRINCIPALES DU PROJET

OBJET DU CHANTIER : Construction de la Canopée et de restructuration des circulations verticales de l'ancien Forum dans le cadre du réaménagement des Halles à Paris 1^{er}

DURÉE DU CHANTIER : 2011-2017

SURFACE TOTALE : 21 600 m²

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Ville de Paris (Canopée, restructuration des circulations verticales, etc.), RATP (restructuration et agrandissement de la salle d'échanges RER, etc.)

ARCHITECTE : Patrick Berger & Jacques Aziutti

ENTREPRISES : Gros-œuvre-charpente-clos couvert : Chantiers Modernes Construction (mandataire) Gtm Tp Idf et Sogéa Idf. Sous-traitants : Delair Cfd (démolition), Cms (désamiantage), Ingénierie des structures et des chantiers (bureau d'études), Freyssinet (précontrainte)

LOGICIELS UTILISÉS : Rhino + Développements Grasshopper + Développements Python + Tekla + Revit + Plateforme BIM WEB

COÛT GLOBAL : 918 millions d'euros hors taxes

ABSTRACT

CANOPÉE DES HALLES IN PARIS: BIM MANAGEMENT AND ENGINEERING

CAROLINE RÉMINY, I-TECH - CHRISTOPHE KOPEC, I-TECH 3D - RÉDA CHAFFI, CMC/SOGEA TPI/GTM TP, VINCI - PASCAL GODON, VINCI - M. TEUSHL, PBJA

Due to the complex shape of the Canopée roof project in the Halles district of Paris, new technologies had to be used. Two years' support with the project design engineering made it possible to group the work of the various trades around the project computer model (MNP: Maquette Numérique de Projet). In the last phase of the project, the model was incorporated into the new VBIM- Web collaboration platform developed by I-Tech. In addition to its optimised technical inputs as an aid for understanding of design and building, BIM provides unique traceability of the design engineering work for this complex project. □

LA CANOPÉE DE LES HALLES DE PARIS: BIM MANAGEMENT E INGENIERÍA

CAROLINE RÉMINY, I-TECH - CHRISTOPHE KOPEC, I-TECH 3D - RÉDA CHAFFI, CMC/SOGEA TPI/GTM TP, VINCI - PASCAL GODON, VINCI - M. TEUSHL, PBJA

La complejidad de la forma del proyecto del techo de la Canopée, en el barrio de Les Halles de París, ha precisado la utilización de las nuevas tecnologías. Dos años de acompañamiento de los estudios de obra han permitido agrupar la intervención de los distintos oficios en torno a la Maqueta Digital de Proyecto (MDP). En la última fase de proyecto, ésta ha sido integrada en la nueva plataforma colaborativa VBIM-Web, desarrollada por I-Tech. Más allá de las aportaciones técnicas de ayuda a la comprensión, del diseño a la construcción, así como a su optimización, el BIM ofrece una trazabilidad única de los estudios de esta obra compleja. □



LE BIM AU SERVICE DU PROLONGEMENT DU RER E. LE SECTEUR DE NANTERRE-LA-FOLIE SOUS MAQUETTE NUMÉRIQUE

AUTEURS : FRANÇOIS APPÉRÉ, BIM MANAGER, ARCADIS - MIKAËL BECK, DIRECTEUR GRANDS PROJETS, ARCADIS

LE PROLONGEMENT DU RER E VERS L'OUEST JUSQU'À MANTES-LA-JOLIE DONNE LIEU À LA CRÉATION DE TROIS NOUVELLES GARES DONT CELLE DE NANTERRE-LA-FOLIE. TWIST, LE GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE PILOTÉ PAR ARCADIS, A DÉCIDÉ DE METTRE EN PLACE UN PROCESSUS BIM POUR LA CONCEPTION DE CETTE NOUVELLE GARE. LA MAQUETTE NUMÉRIQUE MISE EN PLACE REGROUPE DES OUVRAGES D'INFRASTRUCTURE AINSI QUE DES BÂTIMENTS ET SE DÉVELOPPE À MESURE DE L'AVANCEMENT DU PROJET. D'UN SIMPLE OUTIL DE CONCEPTION INTERNE AU DÉMARRAGE, LA MAQUETTE A ÉGALEMENT PERMIS DE NOMBREUX AUTRES USAGES.

UN PROJET DE GARE NOUVELLE COMPLEXE DE PAR LA MULTIPLICITÉ DES ACTEURS ET DES PROJETS EN INTERFACE

Dans le cadre de l'opération EOLE de prolongement du RER E vers l'ouest jusque Mantes-La-Jolie, SNCF Réseau a confié en juillet 2014 au groupement

Twist regroupant Arcadis (mandataire), Kcap, Explorations Architecture, Mazet & Associés, Franck Boutté Consultants et d'Ici-Là, une mission de maîtrise d'œuvre complète de la future gare de Nanterre-La-Folie ainsi qu'une mission de conception de trois ponts routiers et des soutènements encadrant le faisceau de voies ferrées.

Cette nouvelle gare, constituée de six voies à quai, de trois voies de service et de trois voies de retournement en arrière-gare, est située à proximité du raccordement à la partie souterraine de l'opération, vers la Défense. La mise en service de la gare est prévue pour fin 2020, les travaux dans le secteur devant démarrer en 2015.

La nouvelle gare EOLE de Nanterre-La-Folie, sur laquelle viendra se greffer un immeuble de bureaux, sera un des éléments du futur pôle gare de Nanterre que viendra parachever l'arrivée de la ligne 15 du Grand Paris Express. Elle est implantée sur un faisceau ferroviaire assurant le raccordement entre plusieurs lignes du Transilien et représente



1 © TWIST

1 - Image de synthèse du projet Twist - Au premier plan le pont Hebert. Au second plan l'ensemble gare/bâtiment tertiaire.

2- Périmètre d'étude du groupement de maîtrise d'œuvre Twist.

1 - Synthesis image of the Twist project - In the foreground, Hebert Bridge. In the background, the station/tertiary buildings complex.

2- Engineering scope of the Twist project management consortium.

la première étape de la profonde mutation attendue du quartier des Groues à Nanterre, qui deviendra, au terme d'un programme d'aménagement ambitieux porté par l'Établissement public d'aménagement de La Défense Seine Arche (EPADESA), le 11^e quartier de Nanterre, de rayonnement métropolitain. En effet d'ici à 2025, ce sont potentiellement plus de 500 000 m² de logements - avec près de 2 500 logements au sein du secteur de la gare, d'activités tertiaires, de commerces, de

services et d'équipements qui seront livrés.

Ce projet de réaménagement urbain s'accompagne de projets d'infrastructures complexes tels que la transformation de la RD914 et de la RN314 en boulevards urbains à double sens, la réalisation de la ligne 15 du Grand Paris Express, la requalification et la création de nouveaux franchissements, etc.

À la multiplicité des parties prenantes (SNCF Réseau, Epadesa, Société du

Grand Paris, Conseil Départemental des Hauts-de-Seine (CD92), ville de Nanterre) et aux nombreux projets en interface dont les calendriers de réalisation sont entremêlés, s'ajoute une contrainte spécifique à l'organisation de la mission confiée à Twist : le groupement n'est en effet engagé que sur la conception des trois ponts routiers et des murs de soutènement, la réalisation de ces ouvrages étant pilotée par la maîtrise d'œuvre SNCF Direction des Projets Franciliens (SNCF DPF).

LE BIM COMME OUTIL DE CONCEPTION INTERNE - UNE MISE EN PLACE PROGRESSIVE

Dès le démarrage de l'étude, les équipes de Twist ont évalué l'intérêt de l'emploi du BIM pour la conception du projet dans son ensemble, quand bien même la notion de BIM n'était pas évoquée dans le cahier des charges.

La réflexion a tenu compte des délais réduits laissés au groupement pour la phase de conception, des formats des livrables demandés par le MOA et de l'organisation interne du groupement structurée sur plusieurs sites en France et en Suisse.

Il a été ainsi décidé dans un premier temps de ne mettre en place le BIM que pour l'étude de l'ensemble bâtiment gare/tertiaire - passerelle voyageurs. Les ponts et ouvrages ainsi que les soutènements, dont la conception devait être transférée à la SNCF DPF étant étudiés de manière traditionnelle.

Twist a donc mis en place une maquette numérique sur ce périmètre initial dès l'Avant-Projet.

Les principales attentes des équipes de conception étaient alors la coordination technique et spatiale des différentes installations de la zone gare.

La création de cette maquette est passée dans un premier temps par le montage d'un serveur de travail collaboratif afin que les intervenants du projet puissent échanger autour d'informations uniques et partagées.

La réflexion s'est d'abord portée sur les usages de cette plateforme ainsi que les besoins auxquels elle devait répondre.

Dans le cadre de l'Avant-Projet, seules des maquettes modélisées sous le logiciel Revit® allaient être créées, aussi le groupement a décidé de mettre en place un Revit Server®, hébergé par le mandataire Arcadis.

Afin de résoudre les problématiques de sécurisation de son réseau, Arcadis a, de plus, installé une plateforme de gestion de documents Buzzsaw®, afin de partager des informations en externe avec Kcap, l'architecte de l'ensemble gare/bâtiment tertiaire.

Cette solution, couplée à des scripts, permet à chacun des acteurs d'avoir un accès facile et fluide aux maquettes des différents modélisateurs.

Les différents objets devant être intégrés à la maquette Avant-Projet ont ensuite été répartis entre les projecteurs Revit® de l'équipe.



2 © TWIST

La mise en place d'une maquette numérique a obligé tous les acteurs du projet à se poser les questions essentielles que sont la géolocalisation des ouvrages, la correcte implantation des bâtiments et le bon nivellement de l'ensemble dès le démarrage des études. Ce questionnement était d'autant plus important que la parcelle dans laquelle s'intègre l'ensemble bâtiment gare/tertiaire n'est pas définie de manière rigoureuse, car située sur une friche ferroviaire sans délimitation cadastrale. La modélisation des quais telle que prévue par la maîtrise d'œuvre SNCF DPF du projet a servi de base au montage de la maquette numérique. Il était primordial de correctement caler le bâtiment gare/tertiaire vis-à-vis du quai n°4 autant en plan qu'en altimétrie, puisque la façade nord du bâtiment devait être positionnée en bord de ce quai. L'axe longitudinal de la passerelle ainsi que l'axe d'implantation de chacun de ses appuis dépendaient également directement du positionnement des quais.

Enfin, à partir du plan des futures voies du faisceau, les gabarits ferroviaires dans la zone gare ont été modélisés afin de vérifier, dès le démarrage de l'Avant-Projet, le respect des hauteurs libres sous la passerelle et sous les bracons du bâtiment gare/tertiaire.

3- Maquettes structurelles de l'ensemble gare / bâtiments tertiaire et passerelle.

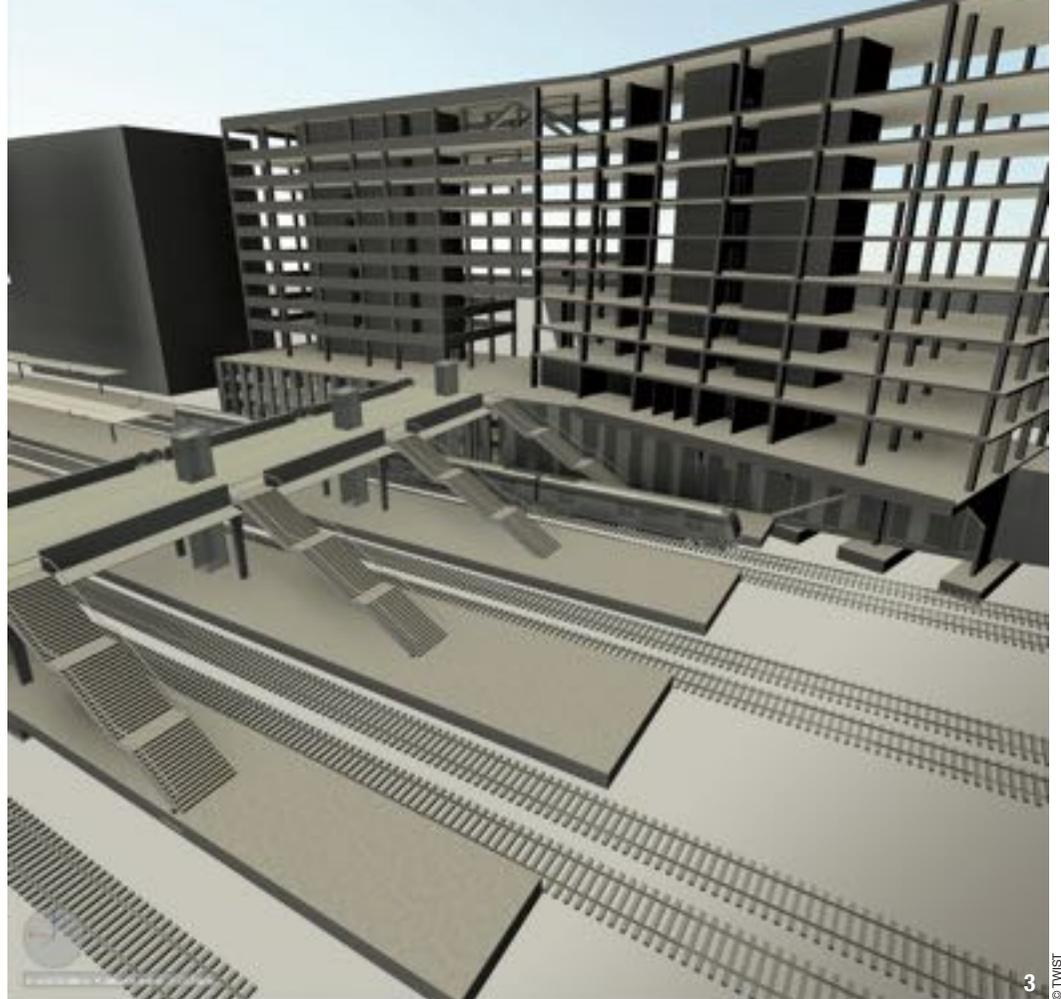
4- Vue éclatée de la maquette Avant-Projet de la passerelle.

5- Détail du profil transversal de la maquette Projet de la passerelle.

3- Structural models of the station/tertiary buildings complex and foot bridge.

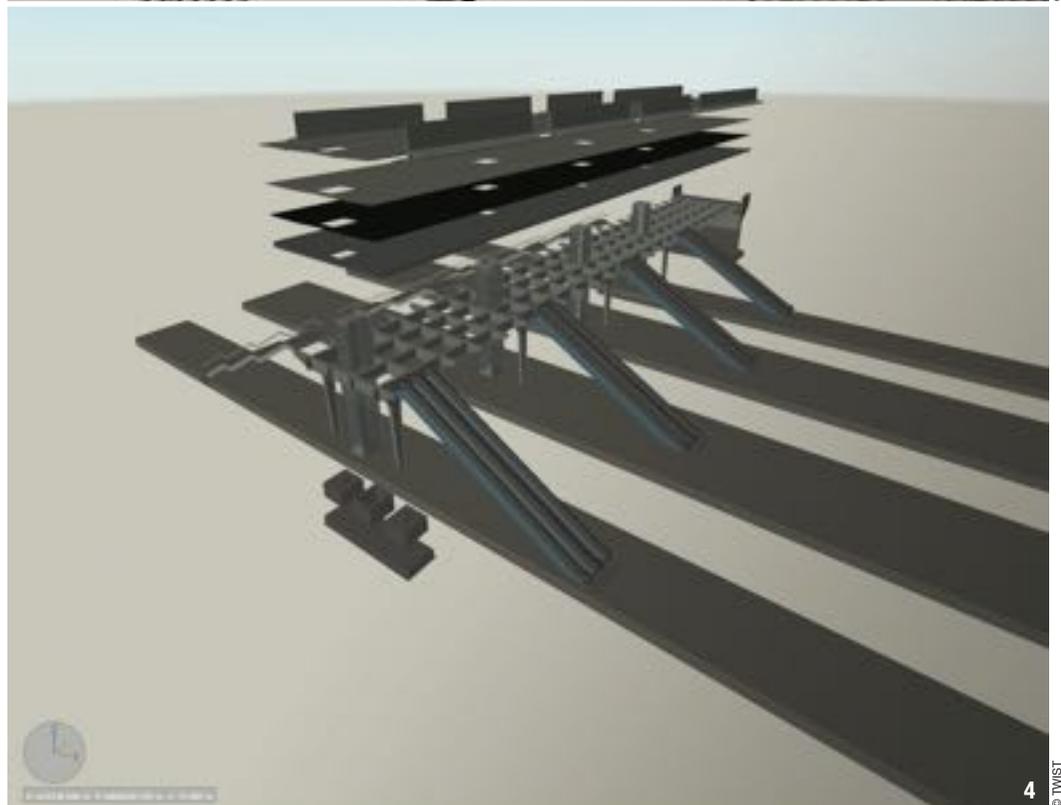
4- Exploded view of the preliminary design model of the foot bridge.

5- Detailed cross section of the final design model of the foot bridge.



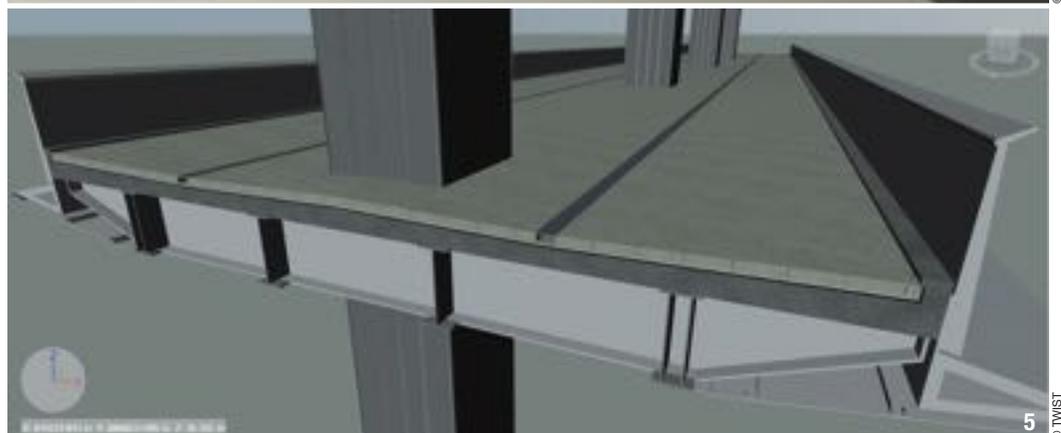
3

© TWIST



4

© TWIST



5

© TWIST

DÉCOMPOSITION ET ORGANISATION DES DIFFÉRENTES MAQUETTES NUMÉRIQUES



© TWIST 6

UNE MEILLEURE GESTION DES INTERFACES

Les éléments ferroviaires situés sur la zone de la gare ont donc été intégrés rapidement à la maquette générale. Ceux-ci n'ont pas été modélisés dans le détail. Seule leur enveloppe géo-

métrique importait pour correctement gérer les interfaces avec les ouvrages et le bâtiment gare/tertiaire. Sur la base de ces objets incorporés à la maquette numérique, l'Avant-Projet de la gare a pu être mené en intégrant directement les contraintes des

différents acteurs. Chaque projeteur en charge de la modélisation d'une installation spécifique (bâtiment, passerelle...), avait un accès direct, unique et à jour des différents objets du projet. Il lui était alors très facile de connaître l'avancement de chaque conception

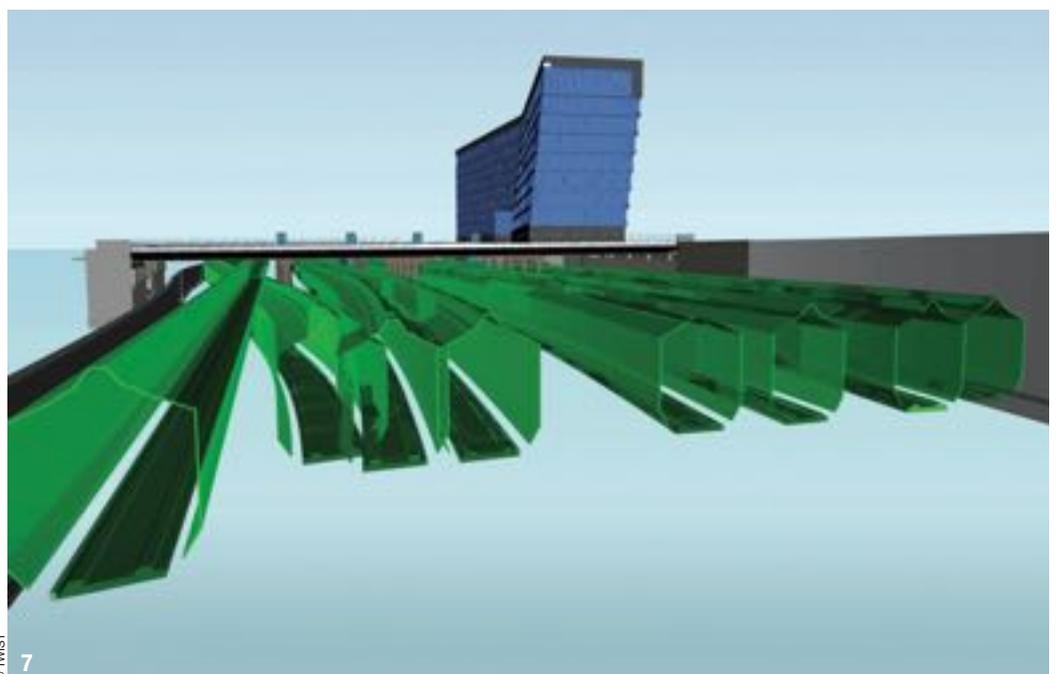
ainsi que les décisions principales de mises à jour. La coordination spatiale et le nivellement des différents bâtiments de la gare ont été effectués de manière efficace sur la base d'éléments à jour et correctement géolocalisés. ▷

6- Décomposition et organisation des différentes maquettes numériques.

7- Représentation des gabarits (en vert) pour vérification des hauteurs libres dégagées sous les ouvrages.

6- Breakdown and organisation of the various computer models.

7- Representation of clearances (in green) to verify the clear heights under structures.



© TWIST 7

L'usage de la maquette numérique à l'Avant-Projet de cette gare a permis d'identifier très en amont des interfaces nécessitant des ajustements de la conception.

Le BIM a notamment permis de mieux gérer :

- L'interface entre les fondations de la gare et celle des quais ;
- La coordination en phase construction de certains éléments de façade de la gare en raison de la présence

à proximité de la passerelle réalisée en amont ;

- Le nivellement des étages inférieurs de la gare par rapport aux quais ;
- La jonction entre le parvis de la gare et la passerelle d'accès aux quais ;
- La compréhension de la topographie future au démarrage des travaux du bâtiment, celle-ci étant très différente de la topographie du site à l'état actuel, grâce à l'intégration du modèle numérique du terrain ;

→ La cohérence entre la structure et la conception architecturale.

Toutes les maquettes de modélisateurs ont été synthétisées dans une maquette de coordination générale créée sur le logiciel Navisworks®.

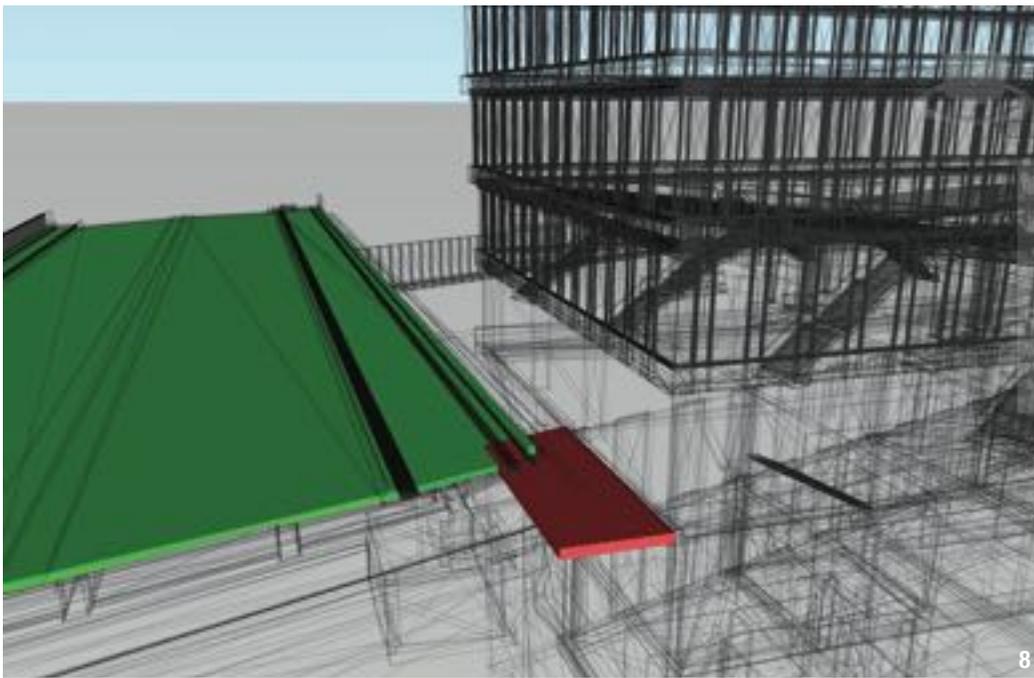
Ce support permet une navigation aisée et fluide au sein de la totalité du projet pour une bonne analyse de la conception dans son ensemble.

Au cours de différentes réunions de travail avec le client, le support de la

maquette numérique de coordination a significativement aidé à la compréhension des sujets discutés et été très apprécié.

UNE COHÉRENCE DE LA PRODUCTION

Globalement sur la phase d'Avant-Projet, le temps de réalisation et de mise à jour des plans a été largement réduit au profit du temps de conception grâce à l'emploi d'outils BIM. Les plans étant

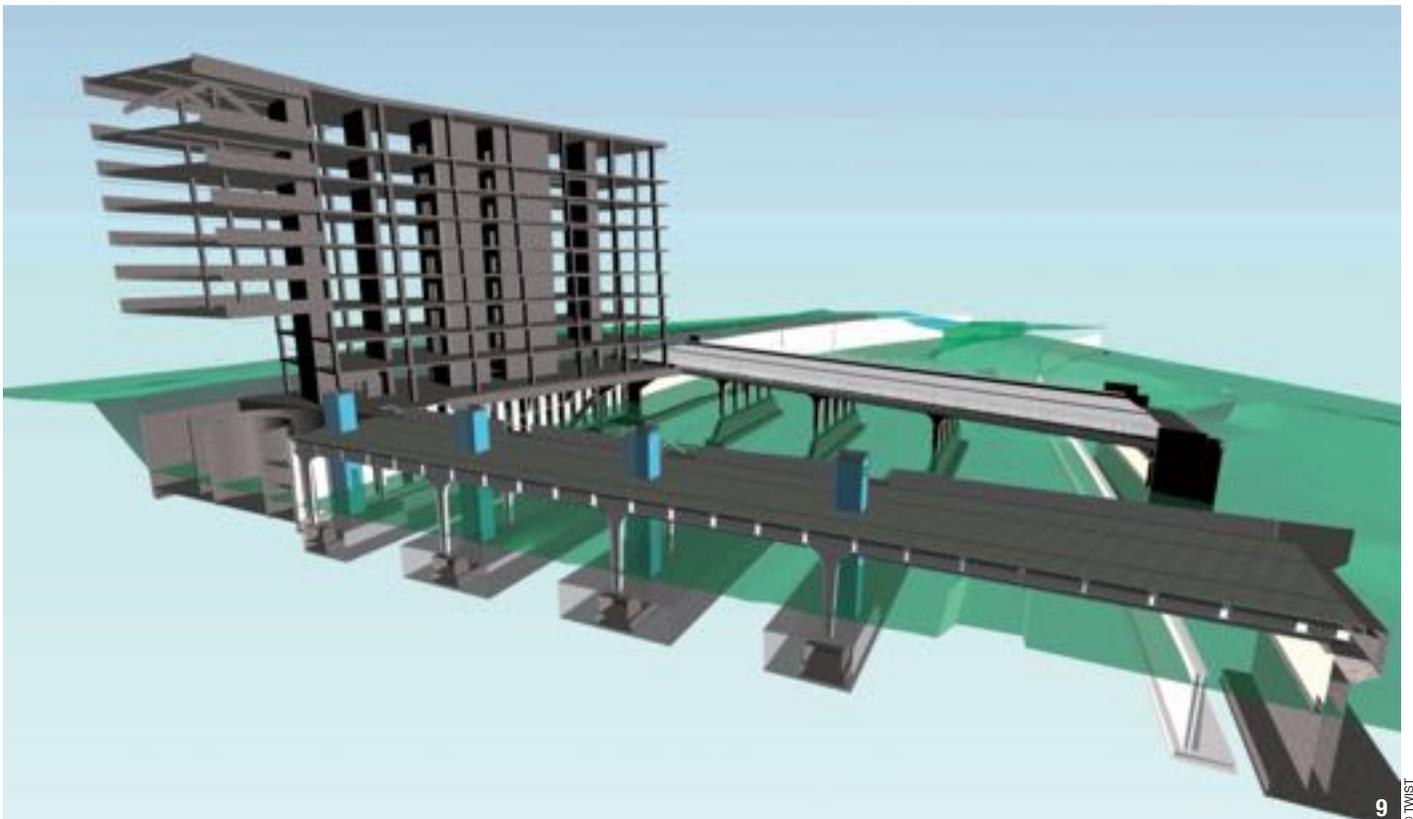


8- Exemple de détection de conflit automatique.

9- Coupe dynamique dans la maquette numérique. En vert transparent, le sol avant les travaux.

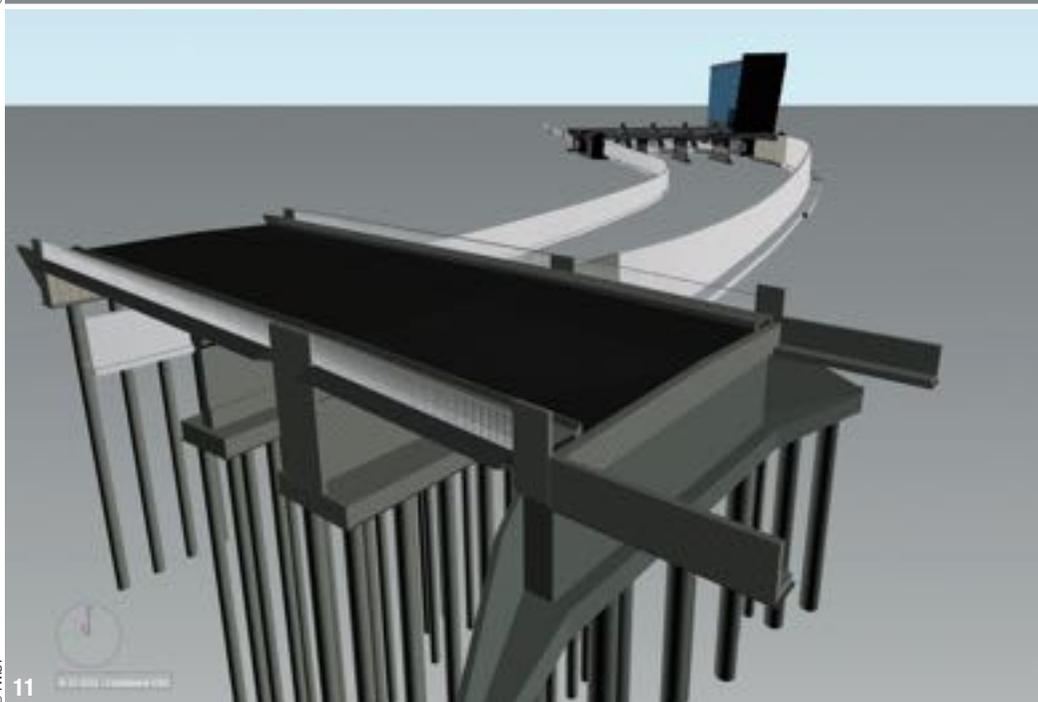
8- Example of automatic conflict detection.

9- Dynamic cross section in the computer model. In transparent green, the soil before the works.





© TWIST
10



© TWIST
11

automatiquement mis à jour dès l'apparition d'une quelconque modification du projet, les équipes étaient assurées de la cohérence constante de tous les livrables.

L'emploi d'outils BIM a également permis de faire gagner du temps aux ingénieurs lors de la réalisation des estimations financières du projet grâce à l'automatisation des quantités. Pour la passerelle notamment, le tonnage de charpente métallique ainsi que la volumétrie de béton ont été directement issus de la maquette numérique.

PROLONGEMENT DE LA DÉMARCHE

Dans le cadre de l'Avant-Projet, seuls Arcadis et Kcap travaillaient en BIM

10- Maquette numérique du pont Hebert.

11- Maquette numérique du pont Arago et des murs de soutènement.

10- Computer model of Hebert Bridge.

11- Computer model of Arago Bridge and retaining walls.

autour d'une maquette unique. Suite au premier retour d'expérience positif de l'usage du BIM, le groupement a décidé d'élargir le périmètre du BIM ainsi que le nombre d'acteurs prenant part à la maquette.

Explorations Architecture, architecte des ouvrages d'art, de la passerelle et en charge de l'aménagement des quais, est intégré au workflow BIM dès le démarrage de la phase Projet.

La passerelle est divisée en différentes maquettes liées, comme il est d'usage pour la conception de bâtiments. Explorations Architecture est en charge de la modélisation des objets architecturés de la passerelle et Arcadis de la partie structurelle et des réseaux. L'intérêt de cette démarche repose dans l'uni-

versité des objets conçus et représentés. L'équipe de conception est ainsi certaine que chaque objet modélisé dans la maquette sera pensé et construit par son responsable uniquement.

Seront aussi ajoutés dans le BIM pendant la phase Projet, les auvents de protection voyageurs sur quais ainsi que le mobilier et l'aménagement des quais.

Un des enjeux du Projet sera aussi de s'assurer de la bonne alimentation en électricité de tous les équipements et mobiliers sur quais, ainsi que des circulations verticales de la passerelle. Cette alimentation électrique pouvant potentiellement provenir de la gare, la maquette numérique permettra donc de s'assurer facilement de la bonne gestion de ce point d'interface.

LE BIM POUR FIABILISER LA CONCEPTION DU PROJET SUR LE SECTEUR DE NANTERRE-LA-FOLIE

SNCF Réseau, le Maître d'Ouvrage, séduit par la démarche BIM mise en place à l'Avant-Projet, a souhaité expérimenter l'élargissement du périmètre du BIM à la grande majorité du secteur des travaux d'EOLE à Nanterre-la-Folie, afin de répondre à des enjeux majeurs :

- La maîtrise des interfaces entre les MOE, les métiers et objets ;
- La maîtrise du planning ;
- La communication avec les parties prenantes.

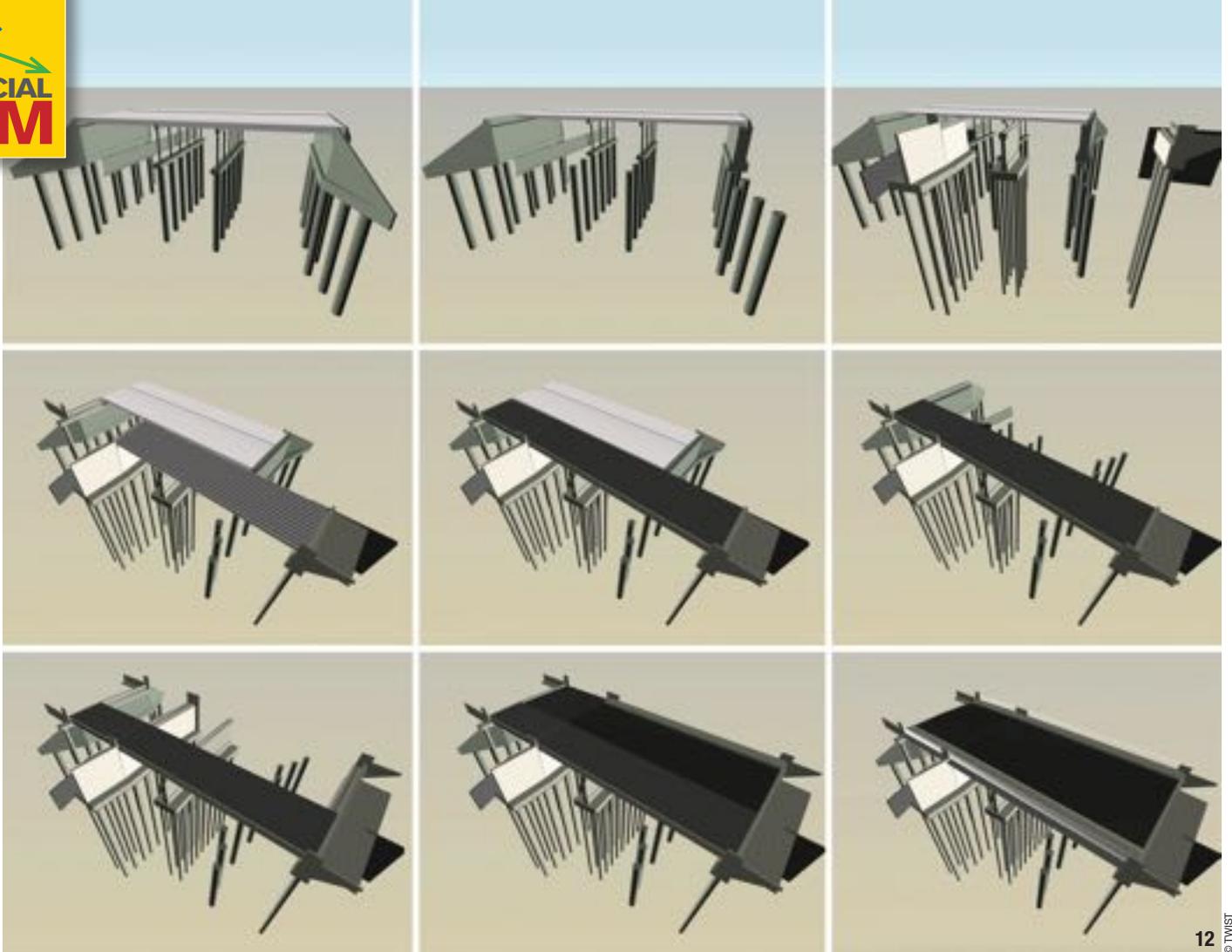
En effet, la complexité du projet d'EOLE sur le site de Nanterre-la-Folie réside dans la multiplicité des acteurs intervenant sur le secteur ainsi que la différence de niveau de maturité de chacun des projets. Chacune de ces maîtrises d'ouvrage porte des projets d'aménagement fortement contraints dans l'espace et dans le temps. Il existe notamment des interfaces très fortes entre la partie souterraine d'EOLE sous la Défense (MOE Setec-Egis-Duthilleul) et la partie aérienne sous MOE DPF et Twist.

En plus du projet de prolongement d'EOLE, la zone de Nanterre-La-Folie est concernée par la réalisation de la gare du Grand Paris Express.

Une liaison souterraine entre cette nouvelle gare de métro et celle du RER EOLE est prévue.

Enfin, la zone fait l'objet d'un réaménagement urbain global à la charge du CD92 et de l'Epadesa.

Les nouvelles données agrégées au BIM permettront la consolidation des conceptions et l'anticipation d'incohérences avant la réalisation des travaux. ▷



12 © TWIST

Le remplacement du pont route Arago sera notamment analysé finement puisque l'étude de démolition a été réalisée par le MOE DPF et celle de la reconstruction par Twist. L'opération de remplacement est complexe car la circulation routière sur ouvrage devra être maintenue pendant toute la durée des travaux. La maquette numérique, grâce à une cinématique 4D spécifique permettra de vérifier le bon ordonnancement des

différentes tâches ainsi que la bonne conception des ouvrages provisoires. L'opération d'aménagement globale de la zone sera également vérifiée par la création d'une maquette générale 4D permettant de repérer les interfaces spatiales et temporelles entre ouvrages des différentes maîtrises d'œuvre. Le planning général de l'opération sera ainsi consolidé avant le lancement des premiers travaux.

Enfin, dans le cas de l'intégration des équipements ferroviaires à la maquette générale, les différentes vérifications de cônes de visibilité et de distance de signalisation pourront également être menées.

UNE DÉMARCHÉ ÉVOLUTIVE

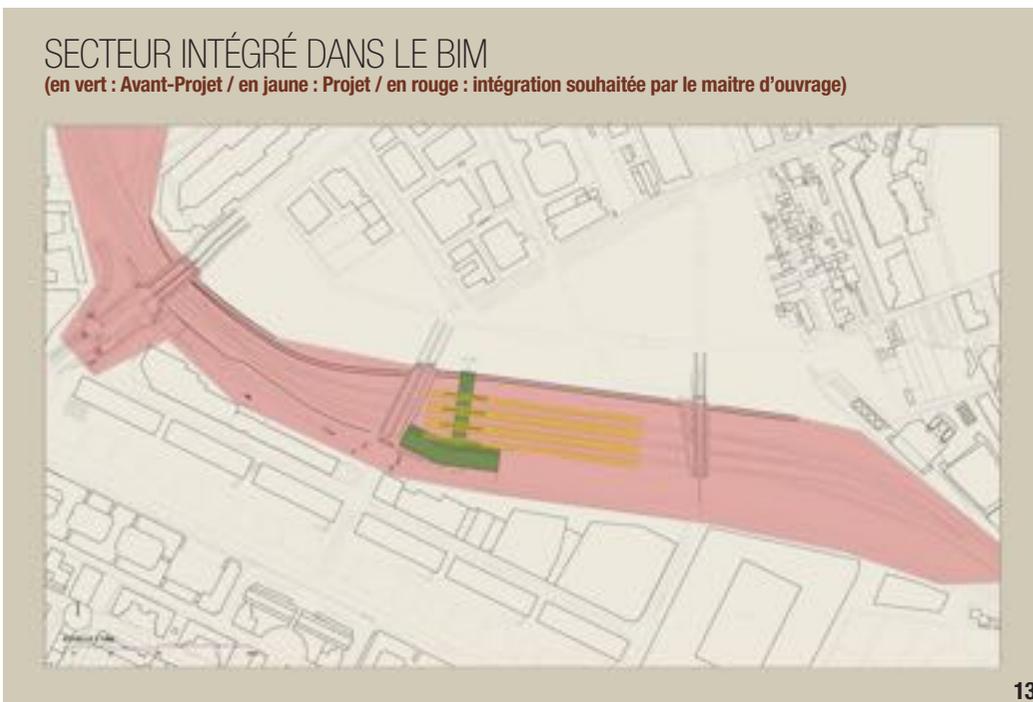
La mise en place d'une maquette numérique sur le secteur de Nanterre-La-Folie fait donc d'abord suite à une

12- Cinématique 4D (de gauche à droite puis de haut en bas) de l'opération de remplacement du pont Arago issue de la maquette numérique.

13- Secteur intégré dans le BIM (en vert : Avant-Projet / en jaune : Projet / en rouge : intégration souhaitée par le maître d'ouvrage).

12- 4D diagram (from left to right then from top to bottom) of the Arago Bridge replacement operation coming from the computer model.

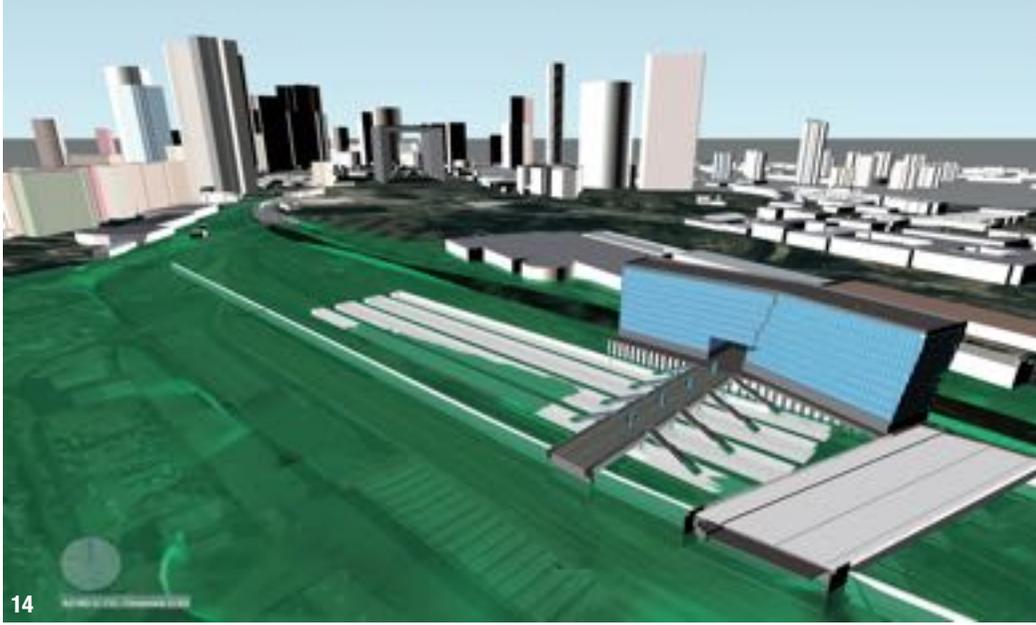
13- Sector included in BIM (in green: preliminary design / in yellow: final design / in red: integration wanted by the client).



SECTEUR INTÉGRÉ DANS LE BIM

(en vert : Avant-Projet / en jaune : Projet / en rouge : intégration souhaitée par le maître d'ouvrage)

13 © TWIST



14- Intégration du projet dans son environnement - État existant.

14- Integration of the project into its environment - Existing state.

décision interne au groupement de maîtrise d'œuvre Twist visant à améliorer son processus de conception. Puis, grâce à la volonté de la maîtrise d'ouvrage SNCF Réseau, cette maquette s'est étendue, jusqu'à atteindre dans un futur proche une toute autre dimen-

sion. L'objectif sera ainsi de couvrir l'ensemble du périmètre du projet, avec le souhait de pouvoir continuer à exploiter les données issues de la maquette au-delà de la phase de réalisation, tout au long du cycle de vie des infrastructures. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SNCF Réseau

GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE : Twist (Arcadis mandataire), Kcap, Explorations Architecture, Mazet & Associés, Franck Boutté Consultants et d'Ici-Là)

ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Systra

PRINCIPALES QUANTITÉS

TWIST EN CHARGE DE LA CONCEPTION ET DE LA RÉALISATION

GARE NOUVELLE EOLE SUR LE SITE DE NANTERRE-LA-FOLIE

- **Partie Est :** 3 niveaux d'infrastructure regroupant des parkings et des locaux techniques
- **Partie Ouest :** 2 niveaux d'infrastructure et le rez-de-chaussée intégrant les bureaux pour les exploitants et leurs prestataires

PASSERELLE D'ACCÈS AUX QUAIS

- Longueur totale : 77 m
- Largeur utile : 12 m
- Ouvrage mixte multipoutres à 4 travées continues

AMÉNAGEMENT DES QUAIS COMPREND

- Les auvents de protection voyageurs
- Le mobilier sur quais
- L'aménagement de surface des quais

TWIST EN CHARGE DE LA CONCEPTION

BÂTIMENT TERTIAIRE SITUÉ AU-DESSUS DE LA GARE

- 14 000 m² de bureaux

PONT ROUTE HÉBERT

- Longueur de l'ouvrage : 76,7 m
- Largeur du tablier : 25 m
- Ouvrage mixte multipoutres à 4 travées continues

PONT ROUTE CÉSAIRE

- Longueur de l'ouvrage : 80,8 m
- Largeur du tablier : variable de 16 à 30 m
- Ouvrage mixte multipoutres à 4 travées continues

REMPACEMENT DU PONT ROUTE ARAGO

- Ouvrage existant : mixte à caissons métalliques
- Longueur de l'ouvrage existant : 45 m
- Largeur de l'ouvrage existant : 23 m
- Ouvrage projeté : 2 travées continues en poutrelles enrobées et une travée à poutres préfabriquées précontraintes par adhérence
- Longueur de l'ouvrage projeté : 63 m
- Largeur de l'ouvrage projeté : 26 m

LES MURS DE SOUTÈNEMENT

- 1 000 m de murs en L préfabriqués

ABSTRACT

BIM USED FOR THE RER E RAILWAY EXTENSION. THE NANTERRE-LA-FOLIE SECTOR UNDER COMPUTER MODELLING

FRANÇOIS APPÉRÉ, ARCADIS - MIKAËL BECK, ARCADIS

The Twist project management consortium, in charge of design of the new RER E station on the Nanterre-La-Folie site, has established a BIM environment in order to coordinate and improve the reliability of its design engineering. A collaborative work process therefore developed around the computer model, facilitating communications and the consistency of the project as a whole. After initial positive experience feedback on the preliminary design phase, the consortium will extend the process to other teams in the consortium and increase the number of objects included in BIM. In parallel to this internal process, the Client, SNCF Réseau, attracted by the potential of the BIM tool in light of the approach established by Twist, wants to experiment by expanding the scope of incorporation of BIM. BIM will enable SNCF Réseau to have better control of the interfaces between project managements, trades and the structures built, made complex by the large number of players and the spatio-temporal constraints of the project. □

EL BIM AL SERVICIO DE LA PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA E DE LOS FERROCARRILES REGIONALES FRANCESES (RER). EL SECTOR DE NANTERRE-LA-FOLIE EN MAQUETA DIGITAL

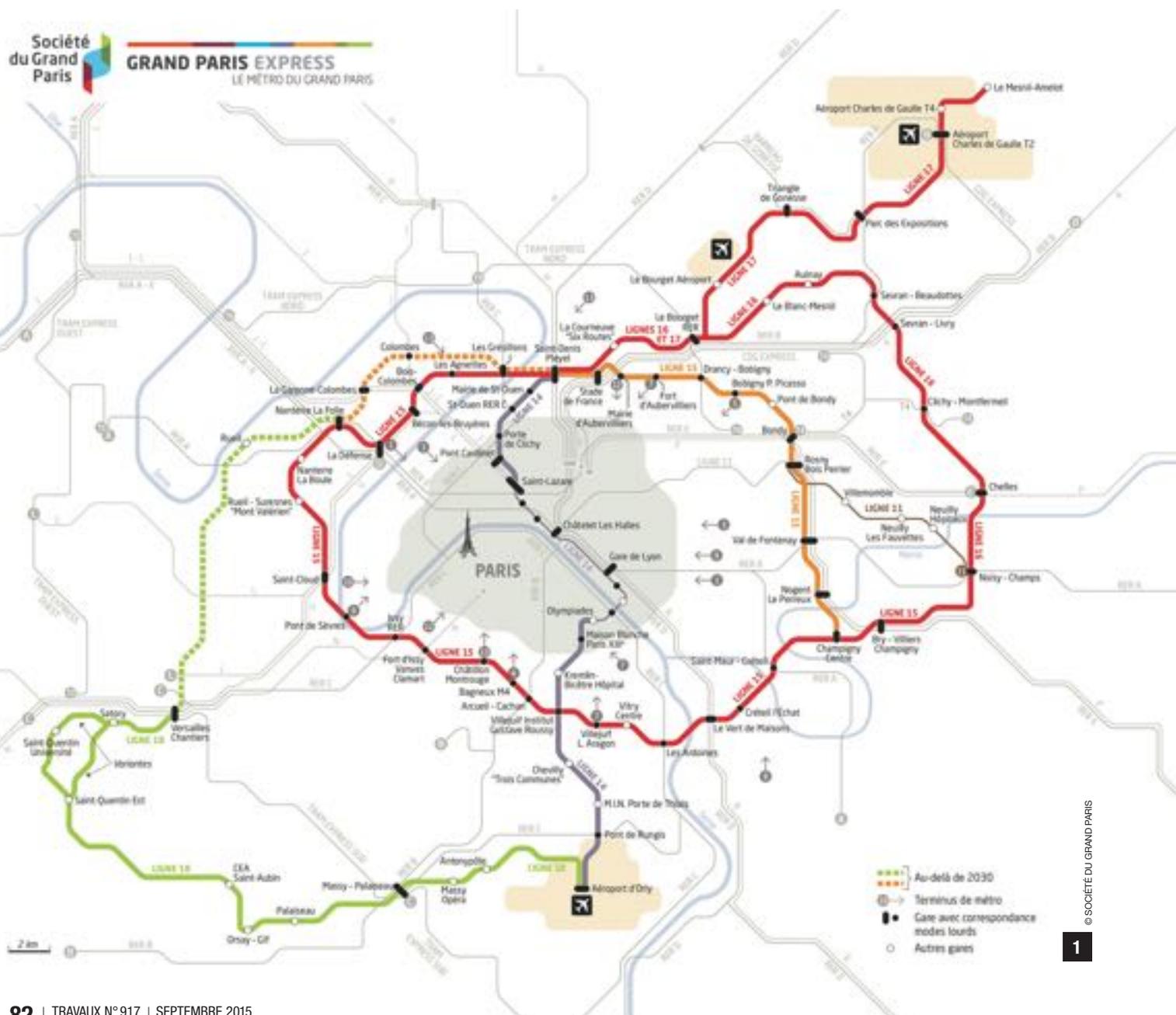
FRANÇOIS APPÉRÉ, ARCADIS - MIKAËL BECK, ARCADIS

El grupo de dirección de obra Twist, encargado del diseño de la nueva estación del RER en el emplazamiento de Nanterre-La-Folie, ha creado un entorno BIM para fiabilizar y coordinar sus estudios. Así, se ha desarrollado un proceso de trabajo colaborativo en torno a la maqueta digital que favorece los intercambios y la coherencia del proyecto en su conjunto. Tras una prueba positiva durante la fase de anteproyecto, el grupo ampliará el proceso a otros de sus equipos y aumentará el número de objetos integrados en el BIM. En paralelo a este procedimiento interno, la entidad contratante, SNCF Réseau, seducido por el potencial que la herramienta BIM ha demostrado en el proceso aplicado por Twist, desea experimentar la ampliación de su perímetro de integración. El BIM ofrecerá a SNCF Réseau un mayor dominio de las interfaces entre direcciones de obra, oficios y obras construidas, complejas debido a la multiplicidad de actores y restricciones espacio-temporales del proyecto. □

UN EXEMPLE DE MISE EN ŒUVRE DU BIM SUR LE TRONÇON 2 DE LA LIGNE 15 DU GRAND PARIS

AUTEURS : LOUIS-MARIE BORIONE, RESPONSABLE BIM, SYSTRA - ANTOINE GAUDIN, RESPONSABLE MOE, SYSTRA

COMMENT METTRE EN MARCHÉ LE BIM POUR LA CONCEPTION D'UN PROJET DE MÉTRO ? POUR RÉPONDRE À CETTE QUESTION, SYSTRA A PARTICIPÉ AU DÉPLOIEMENT DU BIM POUR LE TRONÇON 2 DE LA LIGNE 15 DU GRAND PARIS. CE DÉPLOIEMENT S'EST FAIT PAR LA MISE EN PLACE D'UNE ORGANISATION DE PROJET INCLUANT DE NOUVEAUX RÔLES, NOTAMMENT UN BIM MANAGER ET UN BIM COORDINATEUR, AINSI QUE LA DÉFINITION DES OBJECTIFS BIM ET LE CHOIX DES CAS D'USAGES DES MAQUETTES NUMÉRIQUES. LE BUT ÉTANT D'ORGANISER LA PRODUCTION DES MAQUETTES NUMÉRIQUES ET DES PIÈCES GRAPHIQUES POUR LES PHASES AVANT-PROJET ET PROJET.



- 1- Schéma du Grand Paris.
- 2- Plan du tronçon 2 de la ligne rouge.
- 3- Organigramme du projet.

- 1- Diagram of 'Grand Paris' (Greater Paris).
- 2- Drawing of section 2 of the red line.
- 3- Project organisation chart.



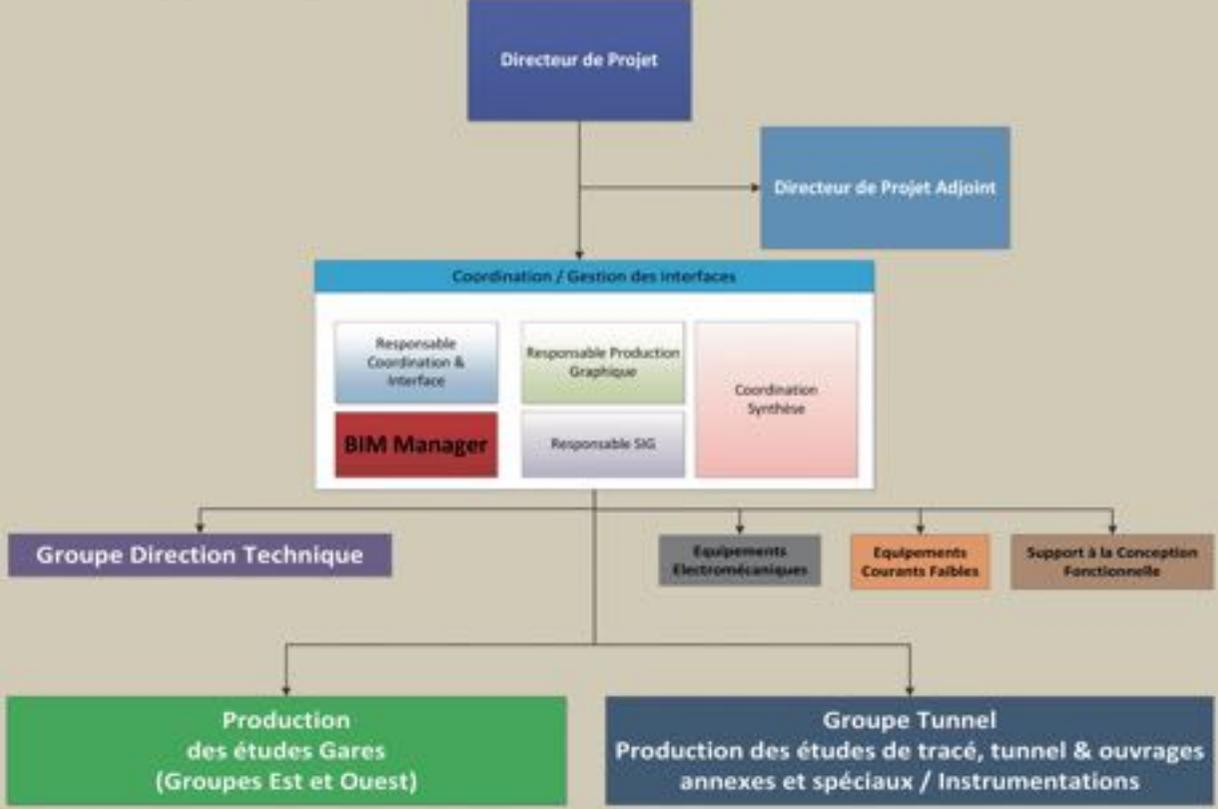
La Société du Grand Paris (SGP) a choisi Systra comme maître d'œuvre infrastructure du tronçon 2 de la ligne 15. Allant de Noisy-Champs à l'est jusqu'à Villejuif-Louis-Aragon à l'ouest, c'est 21 km de tunnel et 8 gares qui sont étudiés par un groupement composé de quatre cabinets d'architecture, Anma, King Kong, Richez Associés

et Valode et Pistre, piloté par Systra. En complément, l'architecture de la gare de Noisy-Champs est réalisée par le groupement Agence Duthilleul et Arep. La confidentialité du projet du Grand Paris ne nous permet pas de divulguer des éléments constitutifs du projet. C'est pourquoi cet article ne contient aucune image 3D, ni plans, schémas

et documents graphiques issus des équipes de production. Cet article présentera la démarche mise en place par Systra pour le déploiement du BIM sur ce projet (figures 1 & 2). Dans l'ingénierie du Génie Civil, il y a une réelle volonté de déployer et développer les compétences BIM. Nous avons donc proposé à la Société du Grand Paris la réalisation des études

avec des processus et des outils BIM pour le tronçon 2 de la ligne 15. Cette proposition a été menée sans obligation vis-à-vis de notre client, la Société du Grand Paris. Aujourd'hui, cette dernière a diffusé en juin 2015 un guide BIM pour les futurs marchés de maîtrise d'œuvre. Cette démarche nous conforte dans notre choix et démontre que le BIM devient incontournable sur nos projets. ▷

ORGANIGRAMME DU PROJET



© PHOTOTHÈQUE SYSTRA

3

Afin de nous aider dans cette démarche nous avons fait appel au service de consulting d'Autodesk qui a déployé une méthodologie de mise en place du BIM dite BVM (Business Value Methodology). Cette méthodologie s'appuie sur la définition des cas d'usage du BIM et détaille les rôles et les responsabilités des intervenants du projet.

Pour ce projet, Systra a proposé à la Société du Grand Paris de réaliser les maquettes numériques des 8 gares du tronçon pour toutes les disciplines (Architecture, Structure et Corps d'états techniques). Il s'agit pour Systra de son premier projet BIM de grande envergure. Le challenge était d'organiser la production des maquettes numériques et des pièces graphiques pour les phases avant-projet (AVP) et projet (PRO).

Ces deux phases sont découpées en deux sous-phases chacune. L'avant-projet est découpé en AVP-a, où nous étudions quatre scénarios par gare, et AVP-b qui finalise l'avant-projet pour un scénario. Le projet est découpé en PRO-a pour la finalisation du lot génie civil et PRO-b pour les corps d'état secondaires et techniques.

ORGANISATION DU PROJET

Afin de mettre en place la production BIM du projet, le projet a mobilisé un BIM Manager afin de déployer les outils BIM sur le projet. Le BIM Manager du projet est accompagné d'un BIM Coordinateur, tous deux faisant partie de la cellule de Coordination/Gestion des interfaces (figure 3).

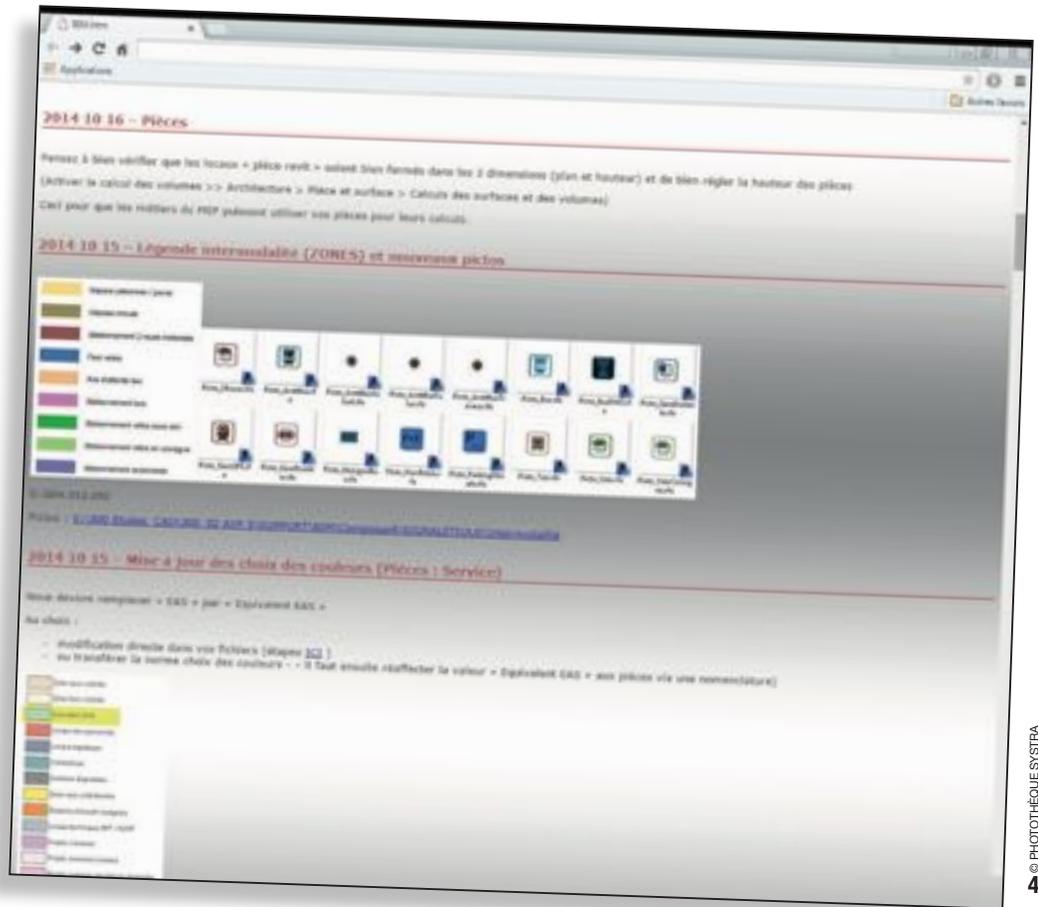
→ Rôle du BIM Manager

Le BIM Manager est en charge du déploiement du BIM sur le projet. Il anime, en phases d'études, le processus de production sous environnement BIM.

À ce titre, son intervention sur le projet a consisté en trois parties : la préparation du déploiement en début de projet, le déploiement lors du lancement de la phase AVP-b et l'accompagnement de la production de l'AVP au PRO.

Également, il définit les besoins de formation des projeteurs, ingénieurs et architectes impliqués sur le projet, rédige le « Guide de production BIM », intervient pour définir les besoins spécifiques informatiques, postes, logiciels, réseaux.

En complément, le BIM Manager tient un blog à destination des équipes de production graphique. Ce blog permet de diffuser facilement des informations sur les nouveautés et modification à prendre en compte dans la production BIM (figure 4).



© PHOTOTHÈQUE SYSTRRA 4

Il est assisté d'un BIM Coordinateur aussi en charge de la production graphique.

→ Rôle du BIM Coordinateur

Le BIM Coordinateur est le relai du BIM Manager auprès des équipes de production. Il est aussi en charge de la mise en place des outils de production graphique et de leur conformité vis-à-vis de la charte graphique du client.

Le BIM Coordinateur vérifie la qualité des modèles, le respect des règles de production notamment la codification des objets définis par le BIM Manager.

4- Extrait du blog.

4- Excerpt from the blog.

→ Support BIM

En complément du BIM Manager et du BIM Coordinateur, un expert de l'outil Revit assiste les projeteurs génie civil et les architectes pour les aider dans l'utilisation quotidienne du logiciel. Le support BIM analyse aussi les modèles produits et s'assure que les modeleurs

suivent les bonnes pratiques d'utilisation du logiciel et les principes de structuration et codification de l'information définis dans le « Guide de production BIM ».

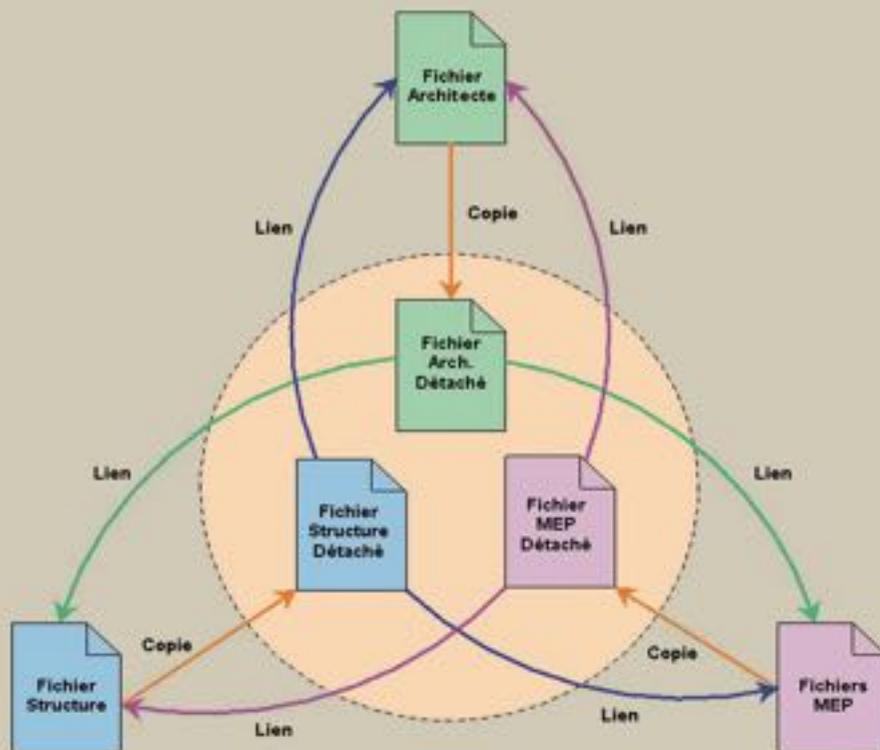
En complément des profils purement « BIM », BIM Manager et BIM Coordinateur, chaque discipline et cabinet d'architecture désigne parmi l'équipe de production un référent BIM.

C'est le contact privilégié du BIM Manager et du BIM Coordinateur pour toutes les questions relatives au processus de production BIM.

TABLEAU A : LE GUIDE DE PRODUCTION BIM DU PROJET DÉCRIT LES RÔLES DES DIFFÉRENTS INTERVENANTS

| | Stratégie projet BIM | | | | | | Management Modèle BIM | | | | Production | |
|-------------------------|------------------------------|------------|---------------------|---------------------------|---------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|------------------|--------------------------|
| | Objectifs / Stratégie métier | Recherches | Process et workflow | Définitions des standards | Mise en place | Formation / Support | Plan d'exécution / planning | Audit des modèles | Gestion de la coordination | Réalisation de contenu | Modélisation BIM | Production des livrables |
| BIM Manager | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| BIM Coordinateur | | | | | X | X | | X | X | X | | |
| Référént métier | | | | | | X | | | X | X | X | X |
| Opérateur métier | | | | | | | | | | X | X | X |

ORGANISATION DES FICHIERS REVIT



© DR 5

Le guide de production BIM du projet décrit les rôles des différents intervenants (voir tableau A).

COLLABORATION

Afin de maximiser les échanges et la collaboration entre les intervenants, architectes, ingénieurs et projeteurs, un plateau commun a été mis en place à proximité du client, la Société du Grand Paris.

5- Organisation des fichiers Revit.
6- Visite virtuelle d'un centre de maintenance.

5- Organisation of Revit files.
6- Virtual visit to a maintenance centre.

Ce plateau commun est un vecteur d'accélération au déploiement du BIM. La proximité d'architectes avec et sans expérience en modélisation BIM a permis d'accélérer la période de transition et de garantir l'adhésion de tous aux nouveaux outils et processus. Le partage de connaissances et l'apprentissage, par l'exemple, améliore la rapidité avec laquelle le modèleur gagne en productivité.

Il est aussi important de pouvoir s'appuyer sur un support outil efficace qui répond sur l'instant et évite de faire perdre du temps à chercher la fonctionnalité. De plus, le support analyse le contenu des modèles produits et guide les producteurs vers les bonnes pratiques d'utilisation du logiciel.

En complément l'architecte et le projeteur génie civil d'une même gare sont situés côte à côte.

En plus d'une proximité géographique permettant une meilleure collaboration, pendant la phase AVP un partage hebdomadaire des modèles se fait par une diffusion interne de la version en cours (WIP : Work In Progress). Ce processus assure que tous les concepteurs utilisent la dernière version de la maquette des autres corps d'état (figure 5).

Depuis le lancement du PRO, les maquettes des différentes disciplines sont directement liées au fichier de travail.

Pendant la phase AVP les modifications majeures effectuées régulièrement sur la maquette rendait difficile une liaison directe des modèles de travail. Certaines options sur la conception devaient être validées avant d'être transmises.

Pour la phase PRO, on recherche une plus grande réactivité.

CAS D'USAGE

Systra a décidé de mettre en place 4 cas d'usage (BIM Use) au minimum pour chaque maquette et un cinquième optionnel. Les quatre obligatoires sont :

1- Production des maquettes : le premier BIM Use correspond à la réalisation des études de conception pour toutes les disciplines, ▷



© PHOTOTHÈQUE SYSTRA 6

à savoir architecture, génie civil, climatisation, plomberie, haute et basse tension et télécoms, à l'aide de maquette Revit. Ce BIM Use ne consiste pas simplement en l'élaboration d'une maquette numérique mais en l'utilisation de cette maquette par les projeteurs et les ingénieurs comme support principal de prise de décision sur la conception. Ainsi toutes les variantes étudiées et les choix de conception sont réalisés dans une maquette numérique BIM afin d'évaluer au mieux les impacts, les problèmes d'interfaces, etc.

2- Production de plans : à partir des maquettes Revit on exporte les plans livrables au format dwg et pdf. Une partie importante du travail mené par le BIM Manager et le BIM Coordinateur a consisté à automatiser et à simplifier ce processus afin de respecter la charte graphique du client.

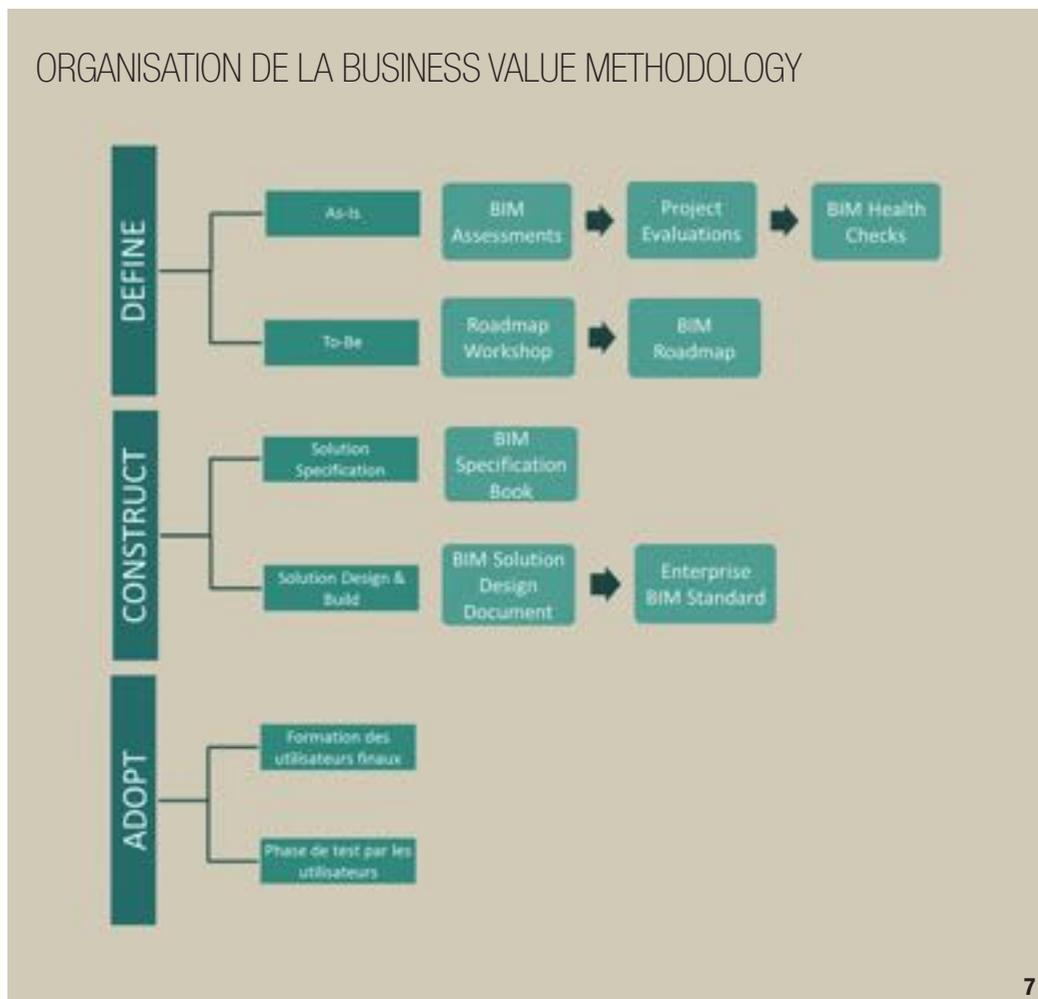
3- Revue de maquettes : lors des revues de conception régulière, la maquette numérique est au cœur des discussions. Elle permet de visualiser tous ensemble les problématiques de conception, de comparer les options et devient un très bon outil d'aide à la décision.

4- Synthèse : régulièrement les maquettes des différents corps d'états sont converties au format Navisworks pour permettre une détection des conflits et identifier les problèmes de conception. Le processus de synthèse a été décomposé en trois étapes,

- a. Définition et création des jeux de recherches, cette étape permet d'organiser et de filtrer les différents conflits.
- b. Une première analyse visuelle des maquettes par jeux de recherche qui permet d'identifier les sujets majeurs.
- c. Une analyse exhaustive des conflits par une détection automatique.

En complément de ces cas d'usages du BIM, Systra encourage l'utilisation des maquettes Revit pour aider la production des quantitatifs. Cette possibilité est aujourd'hui déployée pour le Génie Civil afin de faciliter le travail des métresseurs. La visite virtuelle en 3D temps réel est un outil puissant de communication avec le client.

La maquette réalisée par l'architecte Valode et Pistre a été utilisée pour créer un modèle immersif de très haute qualité.



Reprenant les principes d'ambiance en gare définis par l'architecte ont été ajoutées au modèle Revit des textures et des lumières pour simuler les déplacements dans la gare. Il s'agit du dernier « BIM Use », visualisation déployée sur le projet. Exemple de 3D temps réel pour un atelier de maintenance réalisé à partir d'une maquette Revit (figure 6).

AUTODESK BVM

Le développement du projet BIM pour le Grand Paris a été accompagné par l'expertise des consultants BIM d'Autodesk grâce à leur méthode « Business Value Methodology ». Celle-ci suit trois étapes :

1- La première étape « Define » consiste à établir un état des lieux de la mise en place actuelle du BIM sur le projet en évaluant notamment les contraintes du projet, les équipes et processus en place, l'infrastructure informatique. Cet état des lieux permet de définir précisément les objectifs du BIM, la solution à mettre en place, le planning de déploiement et de son adoption, ainsi que des indicateurs de performance.

7- Organisation de la Business Value Methodology.

7- Organisation of the Business Value Methodology.

2- La deuxième étape « Construct » consiste à spécifier, documenter et développer dans le détail la solution BIM retenue, aussi bien les composants techniques que les processus métiers et impacts organisationnels induits. Cette phase, comme la précédente, est conduite en collaboration avec les différentes parties prenantes du projet qui valident les solutions proposées.

3- La troisième étape « Adopt » consiste à déployer la solution pour la durée du projet en apportant la formation et le support suffisant à chaque partie prenante pour assurer l'adoption des outils et processus mis en place.

Cette démarche, appliquée dans le cadre du projet du Grand Paris Express, a été étendue à l'échelle de l'entreprise afin de définir une méthodologie BIM standard plus globale.

La méthodologie BIM définie est évolutive et a, dès lors, vocation à être mise en œuvre dans la plupart des projets traités (figure 7).

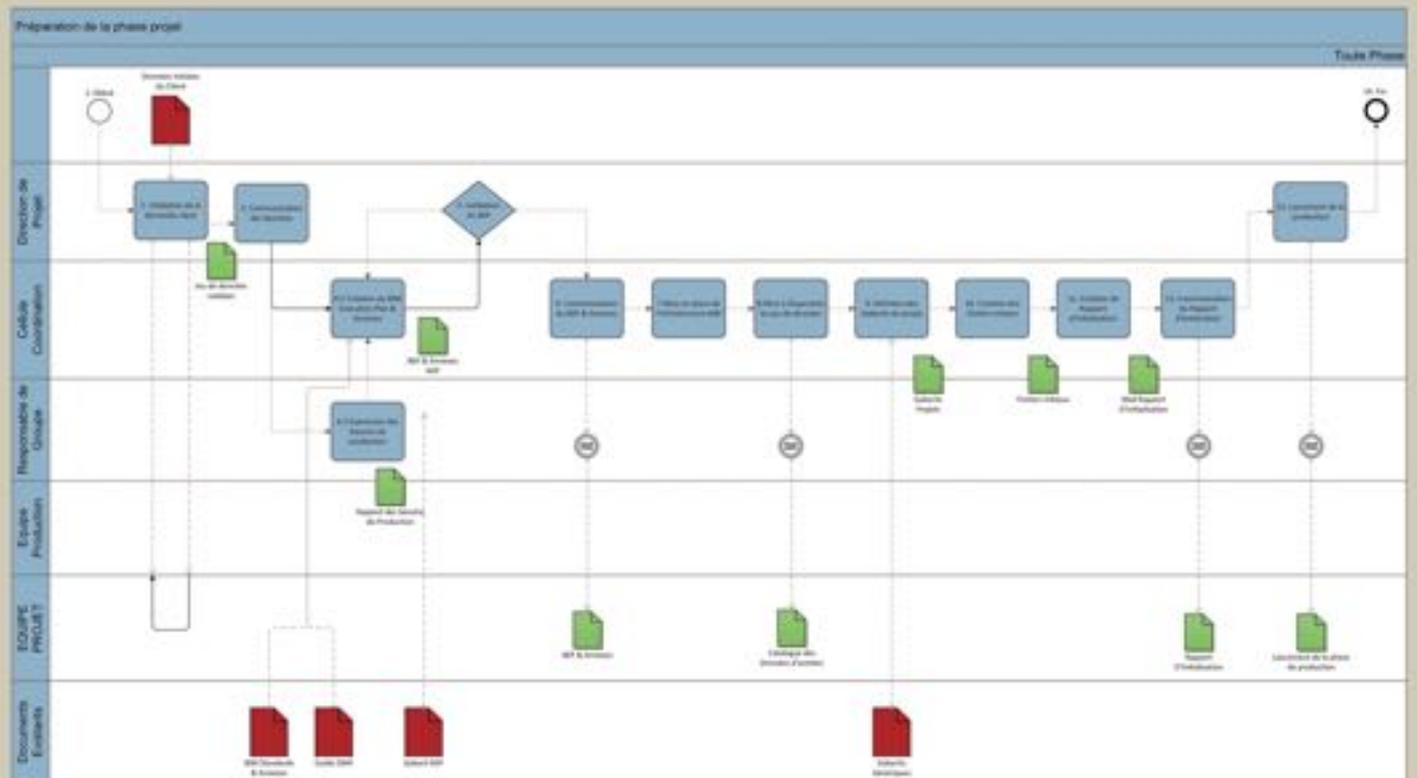
La mission d'Autodesk nous a permis d'identifier les processus de production BIM et de définir les tâches nécessaires à la bonne réalisation de l'affaire comprenant aussi les responsabilités, les étapes de prises de décision et les documents internes à produire (figure 8).

RETOUR D'EXPÉRIENCES

Un an et demi après le démarrage du déploiement du BIM pour cette étude, Systra a retiré de ce projet une grande expérience du BIM pour les infrastructures de métro.

Par ce projet de grande envergure, Systra a pu former plus de 30 collaborateurs à Revit, a pu développer des méthodes de production BIM

EXEMPLE DE PROCESSUS BIM, PRÉPARATION D'UNE NOUVELLE PHASE DU PROJET



8
© PHOTOTHÈQUE SYSTRA

réutilisables et s'est constitué une bibliothèque de plus de 500 objets métier.

Ce projet a aussi permis de rédiger un guide de production BIM standard qui est aujourd'hui déployé sur trois autres projets.

Au cours de cette période Systra a également pu mesurer le rôle primordial que jouent les maîtres d'ouvrage pour permettre le déploiement du BIM et son exploitation optimale à plus grande échelle.

8- Exemple de processus BIM, préparation d'une nouvelle phase du projet.

8- Example of a BIM process, preparation of a new project phase.

CONCLUSION

Systra a initié son déploiement du BIM pour la société du Grand Paris indépendamment de cette dernière. Courant 2014, la SGP a mis en œuvre des guides de production BIM auquel Systra a participé. Ceci conforte dans le choix du BIM pour mener les projets d'infrastructure.

En parallèle, Systra mène avec le consulting d'Autodesk une deuxième mission du type « Business Value » au niveau général de l'entreprise. □

CHIFFRES CLÉS

NOMBRE DE PERSONNES : 100

NOMBRE D'UTILISATEUR DE REVIT : 30

NOMBRE DE MODÈLES REVIT : > 50

NOMBRE DE PLANS PRODUITS À PARTIR DES MAQUETTES : 430 en AVP-b

ABSTRACT

AN EXAMPLE OF THE USE OF BIM ON SECTION 2 OF 'GRAND PARIS' LINE 15

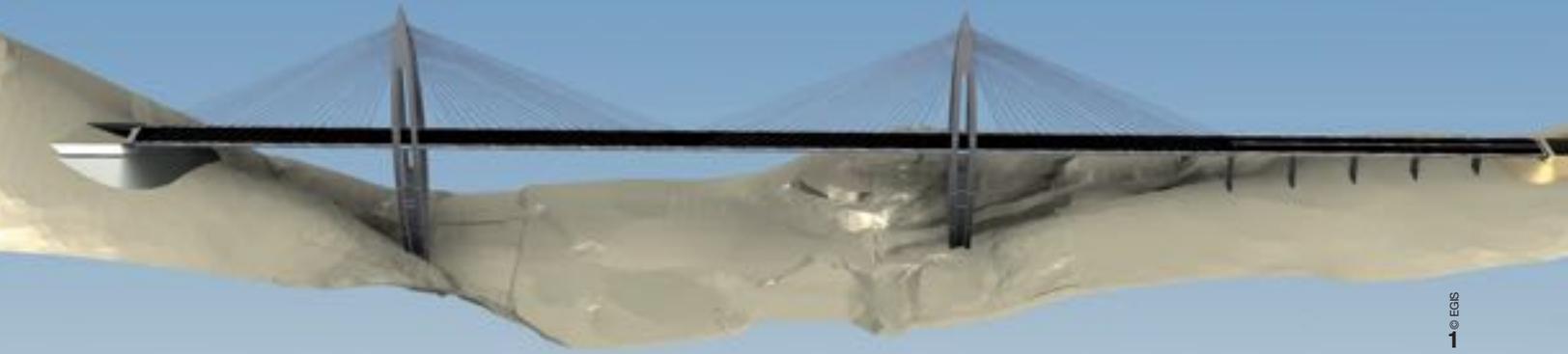
LOUIS-MARIE BORIONE, SYSTRA - ANTOINE GAUDIN, SYSTRA

How to start using BIM for the design of a metro project? To answer this question, Systra took part in the deployment of BIM for section 2 of 'Grand Paris' line 15. This deployment was achieved by setting up a project organisation including new roles, in particular a BIM Manager and a BIM Coordinator, and by defining BIM objectives and choosing the applications for computer models. The aim was to organise the production of computer models and graphic documents for the preliminary design and final design phases. □

UN EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL BIM EN EL TRAMO 2 DE LA LÍNEA 15 DEL GRAN PARÍS

LOUIS-MARIE BORIONE, SYSTRA - ANTOINE GAUDIN, SYSTRA

¿Cómo utilizar el BIM para el diseño de un proyecto de metro? Para responder a esta pregunta, Systra ha participado en el despliegue del BIM para el tramo 2 de la línea 15 del Gran París. Dicho despliegue se ha llevado a cabo mediante la creación de una organización de proyecto que incluye nuevas funciones, en especial un BIM Manager y un Coordinador BIM, así como la definición de los objetivos BIM y la elección de los casos en que se emplearán maquetas digitales. La finalidad de todo ello es organizar la producción de las maquetas digitales y de los documentos gráficos para las fases de anteproyecto y proyecto. □



LE BIM ET LES OUVRAGES D'ART

AUTEURS : ARNOLD LEDAN, RESPONSABLE DU BUREAU DE DESSIN, EGIS JMI - CARINE LION, TECHNICIENNE CONFIRMÉE, EGIS JMI

QUAND UN PROJET DE BÂTIMENT DOIT ÊTRE RÉALISÉ DANS LE CADRE DU BIM, LE CHOIX DE LOGICIEL DE CAO EST QUASIMENT AUTOMATIQUE. DANS LE CAS DES OUVRAGES D'ART, IL N'EXISTE CHEZ AUCUN ÉDITEUR DE LOGICIEL DÉDIÉ. CHAQUE BUREAU D'ÉTUDES UTILISE UNE OU PLUSIEURS SOLUTIONS, SOIT EN RECOURANT À UN LOGICIEL GÉNÉRALISTE QU'IL ENRICHI, SOIT EN DÉVELOPPANT SON PROPRE LOGICIEL. LE DOMAINE A AUSSI DES BESOINS SPÉCIFIQUES. C'EST POURQUOI LE DÉVELOPPEMENT DU BIM EN OUVRAGES D'ART EST COMPLEXE ET NÉCESSITE DE METTRE AUTOUR DE LA TABLE DE NOMBREUX ACTEURS.

LES NIVEAUX DE DÉFINITION DU BIM

BIM est un acronyme derrière lequel se cachent des formes d'organisation de l'information très variées.

Dire que l'on « fait du BIM » ne veut rien dire dans l'absolu ; en réalité le BIM a plusieurs niveaux, appelés niveaux de maturité, qui permettent une adapta-

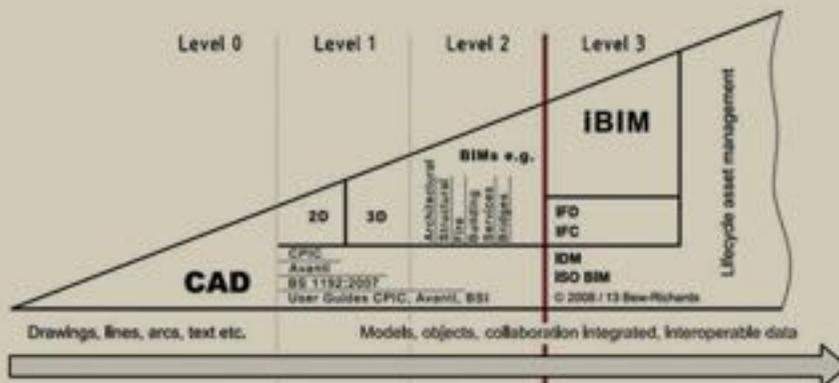
tion à la taille et aux enjeux du projet et au mode de conception de l'objet à construire. Ces niveaux de maturité sont représentés classiquement dans le diagramme de la figure 2.

Le BIM Niveau 0 correspond à un mode de travail ancien qui n'existe quasiment plus aujourd'hui dans le génie civil. L'objet technique est modélisé par

CAO 2D non gérée et non structurée. Bien évidemment, chaque opérateur met en place des standards de présentation et de travail en interne, au travers des processus Qualité. Pour être concret, ces standards concernent par exemple le géoréférencement, la structuration, la couleur et le nom des calques, la façon de coter les dimen-

sions, les connexions entre fichiers, les cartouches de plan, le mode de stockage et de révision des plans, l'archivage, etc. Le terme « CAO 2D non géré et non structuré » ne signifie pas que la qualité technique de la conception et des plans associés est mauvaise ; en revanche, les standards varient d'une entité à l'autre.

LES 4 NIVEAUX DE MATURITÉ DU BIM



1- Pont haubané sur l'oued Bouregreg - Vue générale du modèle 3D Inventor avec MNT.

2- Les 4 niveaux de maturité du BIM.

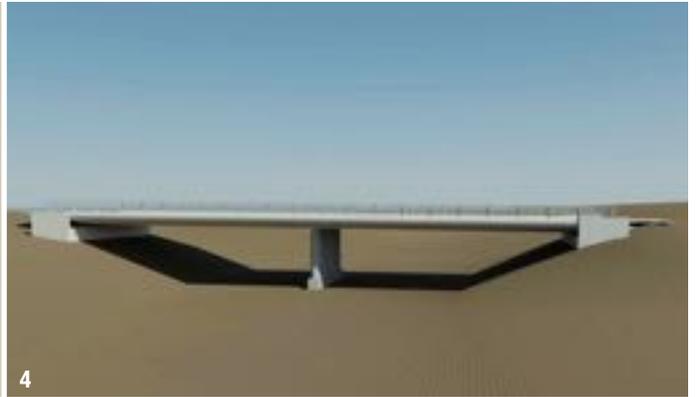
1- Cable-stayed bridge over Wadi Bouregreg - General view of the Inventor 3D model with DTM.

2- The 4 levels of maturity of BIM.

VUE EN PLAN PRODUITE À PARTIR DU MODÈLE 3D Ouvrage courant modélisé sous Revit

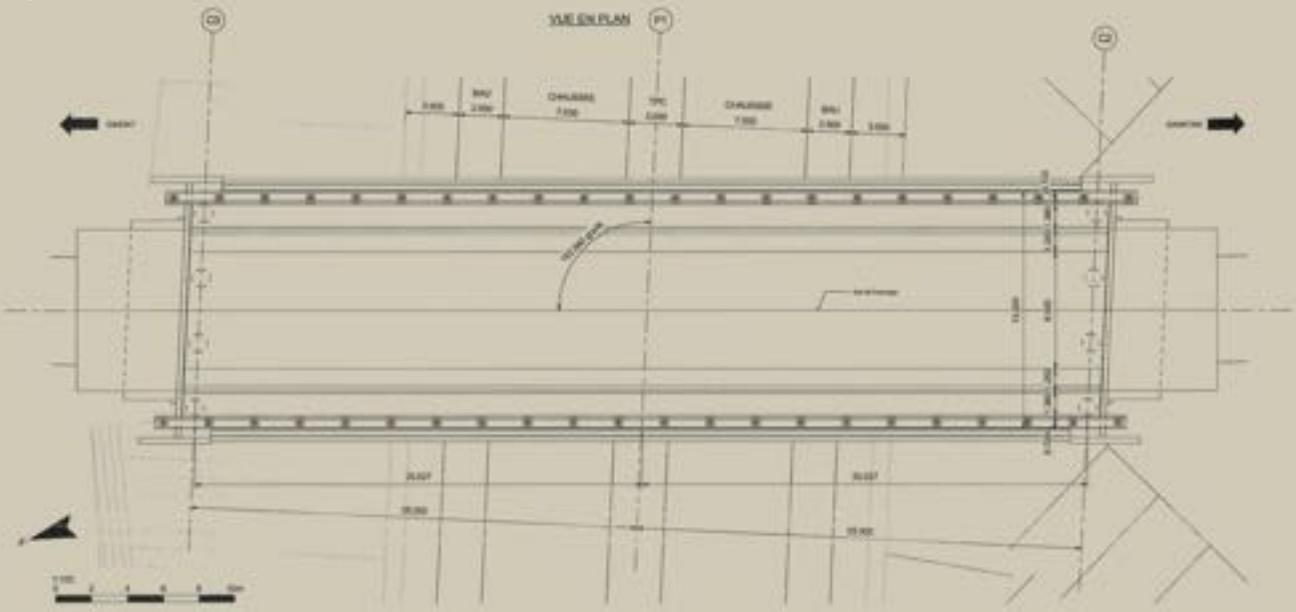


3



4

VUE AVEC MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN (MNT) Ouvrage courant modélisé sous Revit



5

Du coup, tout projet qui implique plusieurs entités commence systématiquement par une discussion sur les formats de travail. À noter également que dans ce niveau 0 du BIM, les plans sont 2D et les livrables en général sous forme papier.

Le BIM Niveau 1, aussi appelé *lonely BIM*, est un mélange de 2D et de maquette numérique 3D. Les données doivent impérativement être structurées selon une norme nationale ou internationale, qui régit la numérotation, la présentation, le système de diffusion et d'approbation des documents. Actuellement, c'est une norme britannique qui fait référence sur le sujet : la BS1192. Dans ce niveau 1 du BIM, il faut mettre en place une « armoire à plans », qu'elle soit publiée ou non.

Le BIM Niveau 2 est le premier niveau qui permet un travail collaboratif partiel. Les données 3D sont sous forme d'une ou plusieurs maquettes numériques 3D, éventuellement produites par différents intervenants (ingénieurs, architectes, gestionnaires de réseaux...). Ces maquettes sont combinées en un seul modèle au moyen d'un outil de synthèse. Ce modèle unique va

3- Ouvrage courant modélisé sous Revit - Vue en plan produite à partir du modèle 3D.

4- Ouvrage courant modélisé sous Revit - vue isométrique.

5- Ouvrage courant modélisé sous Revit - vue avec modèle numérique de terrain (MNT).

3- Standard engineering structure modelled under Revit - Plan view produced from the 3D model.

4- Standard engineering structure modelled under Revit - Isometric view.

5- Standard engineering structure modelled under Revit - View with Digital Terrain Model (DTM).

permettre d'effectuer la détection des conflits. Les documents sont gérés par une GED (Gestion Electronique des Documents).

Le BIM Niveau 3, aussi appelé *iBIM* ou *BIM collaboratif*, est l'aboutissement du processus. Une maquette numérique unique est stockée sur un serveur centralisé, accessible par les différents partenaires pendant toute la durée du projet. En théorie, cette maquette peut également être prolongée pendant toute la durée de vie de l'ouvrage pour servir d'outil à sa maintenance.

Les maîtres d'ouvrage impliqués dans la démarche ambitionnent de tendre à terme vers le BIM collaboratif (niveau 3). Mais ce mode de fonctionnement a des impacts contractuels forts ; donc actuellement c'est le niveau 2 qui est visé, à part sur quelques projets de très grosse ampleur.

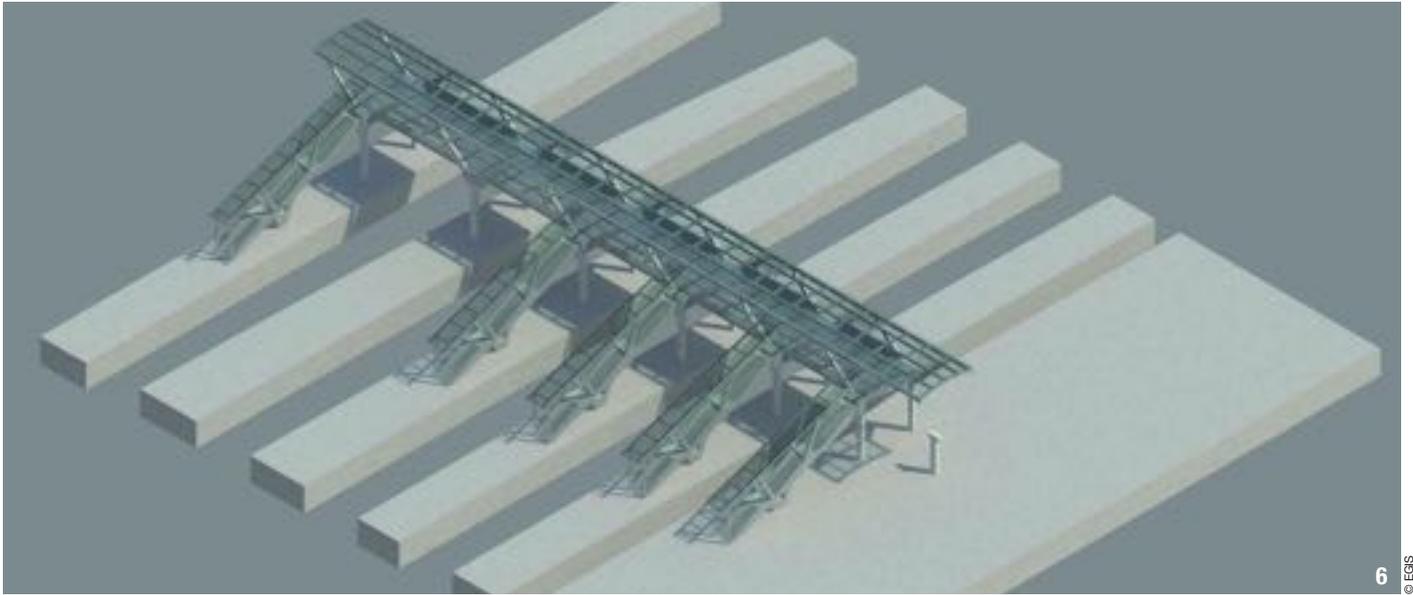
INTEROPÉRABILITÉ ET PROTECTION DU SAVOIR-FAIRE

La maquette numérique suppose une interopérabilité entre les différents logiciels utilisés pour le dessin. C'est-à-dire que les différents logiciels doivent pou-

voir échanger de la géométrie (points, lignes, surfaces, volumes) avec des données ou informations liées à certains éléments géométriques.

L'échange de données au format propriétaire pose des questions de propriété intellectuelle et surtout de protection du savoir-faire, à la fois dans le niveau 2 et dans le niveau 3 du BIM. Dans le niveau 2, quand un intervenant monte sa maquette 3D, au-delà de l'objet à définir, il va monter une architecture logique pour définir la géométrie de l'objet. C'est dans cette architecture logique que réside le savoir-faire du projeteur et son expertise dans l'intégration des contraintes géométriques et dans le maniement de l'outil. Il faut donc que le fichier qui est échangé contienne les informations strictement nécessaires à la définition 3D et les données utiles au projet, sans contenir le savoir-faire de l'opérateur en terme de structuration de fichiers, de démarche de conception, de démarche de représentation.

Il ne doit pas non plus contenir la bibliothèque des objets, qui est souvent enrichie au fur et à mesure des projets et qui représente un capital intellectuel important pour un bureau d'études. ▷



6
© EGIS

Le défi, si on veut que tout le monde ait envie de communiquer, est donc de transmettre de l'information 3D de l'objet sans livrer ce savoir-faire.

C'est pour cela que le fichier de transfert ne peut être le fichier natif de l'opérateur. L'échange de données passe donc pas un format de fichier de type IFC (« Industry Foundation Classes »).

On voit bien aussi la difficulté du niveau 3 du BIM, où le fichier natif est commun à tout le monde, puisque la maquette est unique.

Il faut donc des clauses particulières dans les contrats pour gérer les apports des uns et des autres, pour définir le partage de la propriété intellectuelle et aussi le partage des responsabilités (assurances). Il y a aussi des procédures à définir pour permettre ce travail collaboratif, tout en garantissant la qualité du produit final.

LE BIM ET LES OUVRAGES COURANTS

LES SPÉCIFICITÉS DES OUVRAGES D'ART COURANTS (OAC)

La conception des ouvrages courants présente certaines spécificités de répétitivité et de standardisation qui doivent

être prises en compte dans les outils BIM.

Plus que tout autre ouvrage d'art, le dessin des OAC fait appel à l'utilisation de familles d'objets et de bibliothèques associées : bibliothèques de piles ou de culées, bibliothèques de formes de poutre, bibliothèques d'équipements (barrières, garde-corps, joints de chaussée...).

De plus, les ouvrages courants sur des infrastructures linéaires sont en interface forte avec les équipes de tracé. Il faut pouvoir échanger facilement et rapidement avec les équipes des autres lots et à tous les stades du projet :

- au stade de la collecte des données et contraintes,
- au stade du choix du type d'ouvrage,
- au stade du précalage de l'ouvrage,
- au stade final de la sortie des dossiers d'ouvrages.

Les données à échanger sont de différents types :

- données géométriques (de tracé),
- données topographiques,
- données géotechniques,
- données hydrauliques,
- données relatives aux équipements et aux chaussées.

6- Exemple de passerelle piétonne sur gare, modélisée sous Revit.

7- Pont Moulay Hassan à Rabat - Photo de l'ouvrage à la mise en service.

6- Example of a station pedestrian bridge, modelled under Revit.

7- Moulay Hassan Bridge in Rabat - Photo of the structure at commissioning.

Ce dialogue permanent, qui est spécifique aux infrastructures linéaires, sera particulièrement facilité par l'interopérabilité et la maquette numérique.

Des revues de maquette numérique planifiées dans le processus de calage de l'infrastructure permettront de vérifier la cohérence du travail des différents lots.

TRAÇABILITÉ DES DONNÉES

Comme évoqué précédemment, la conception d'infrastructures linéaires est un processus très itératif où les différents métiers travaillent en parallèle. Pour l'opérateur OAC, il faut pouvoir garder l'historique des entrants pour les OA et des modifications successives de ces entrants : versions successives du tracé, intégration de nouveaux entrants topos, etc. L'outil traditionnel pour assurer cette traçabilité est la fiche navette, qui constitue une carte d'identité de chaque rétablissement (passage supérieur ou inférieur) sur le projet.

LA QUESTION OUVERTE DU CHOIX DU LOGICIEL DE CAO

Au vu des éléments qui précèdent, les logiciels de CAO pour le calage des ouvrages courants doivent être souples, simples d'utilisation, interopérables et disposer d'une bibliothèque et de possibilité de pré-programmation.

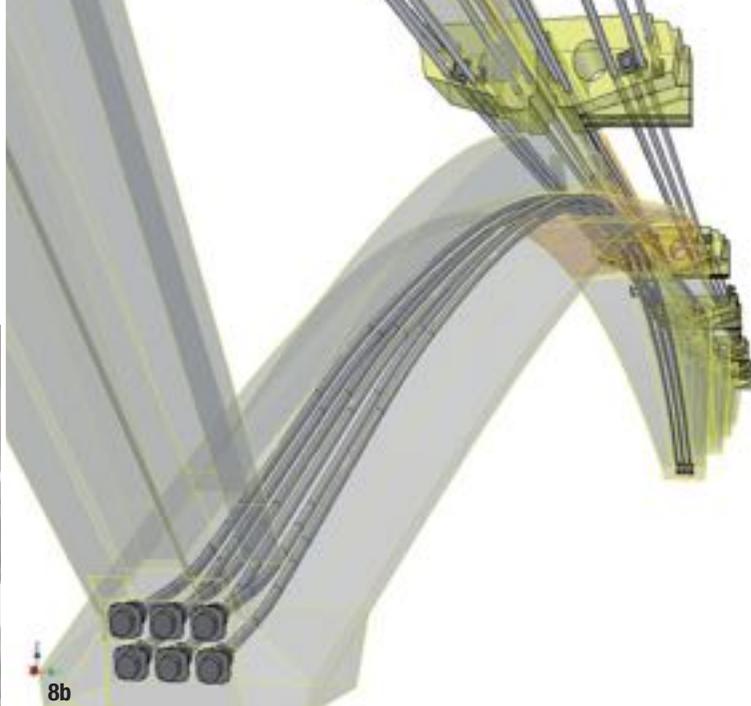
De plus, actuellement et pour encore de nombreuses années, il faut pouvoir éditer des plans 2D même dans des phases intermédiaires, parce que le plan 2D est indispensable à la réflexion de l'ingénieur ouvrier et de l'ingénieur tracé.



7
© EGIS



8a



8b

Au stade actuel, peu de logiciels remplissent tous ces critères et l'ensemble des éditeurs travaille à la mise à jour de leurs produits dans ce sens.

On trouvera aux figures 3 à 5 un exemple de pont courant dessiné en 3D, avec un plan 2D généré directement depuis la maquette 3D.

Cet exemple a été traité avec le logiciel Revit Structures de l'éditeur Autodesk.

LE BIM ET LES PASSERELLES URBAINES

Les passerelles piétonnes appartiennent pleinement à la catégorie des ouvrages d'art.

Pourtant, quand elles sont implantées en milieu urbain, elles ont de multiples fonctionnalités, qui vont au-delà de la seule mobilité, qui les rapprochent du bâtiment public.

C'est particulièrement vrai pour les passerelles sur gare, qui sont l'objet de nombreux projets en France en lien avec la problématique d'accessibilité des transports en commun.

Sur ces passerelles, il y a bien évidemment des problématiques structurelles, mais également beaucoup d'interfaces avec d'autres métiers. Ces passerelles portent des équipements particuliers : écrans de protection caténaire, signalétique, panneaux à message variable,

8- Pont Moulay Hassan à Rabat : a- Vue du dessous, photo des palmes. b- Vue 3D des câbles de précontrainte des palmes, modélisés sous Inventor.

9- Pont haubané sur l'oued Bouregreg : a- Modèle 3D de la base de pylône avec MNT. b- Pont haubané sur l'oued Bouregreg, photo de la base de pylône en construction.

8- Moulay Hassan Bridge in Rabat: a- View of the underside, photo of webbed brackets. b- 3D view of webbed bracket prestressing cables, modelled under Inventor.

9- Cable-stayed bridge over Wadi Bouregreg: a- 3D model of the pylon base with DTM. b- Cable-stayed bridge over Wadi Bouregreg, photo of the pylon base under construction.

éclairage fonctionnel, surveillance vidéo, avec des problématiques d'alimentation, de durabilité et de maintenance, sans parler des ascenseurs et escaliers mécaniques.

Le BIM vient du bâtiment, comme son nom l'indique.

Son objectif premier a été la gestion des interfaces et la détection des conflits. C'est donc logiquement un bon outil pour ces projets. La figure 6 montre une maquette numérique 3D d'une passerelle sur gare RER, avec le logiciel Revit Structures.

Pour l'instant, la petite taille de ces objets a freiné la mise en œuvre de la démarche. Mais le projet du Grand Paris, qui démultiplie ce type d'objet, va accélérer le processus.

LE BIM ET LES OUVRAGES NON COURANTS

Les ouvrages non courants (OANC) présentent moins d'interfaces avec les autres lots que les OAC ou les passerelles.

La problématique d'itération et d'échange est moins prégnante.

En revanche, la définition géométrique de ces ouvrages est plus complexe et, dans l'état actuel, elle ne peut être abordée par certains logiciels. Il est par exemple difficile avec certains outils,

voire impossible, de modéliser un tablier avec une variation de dévers ou des surfaces gauches.

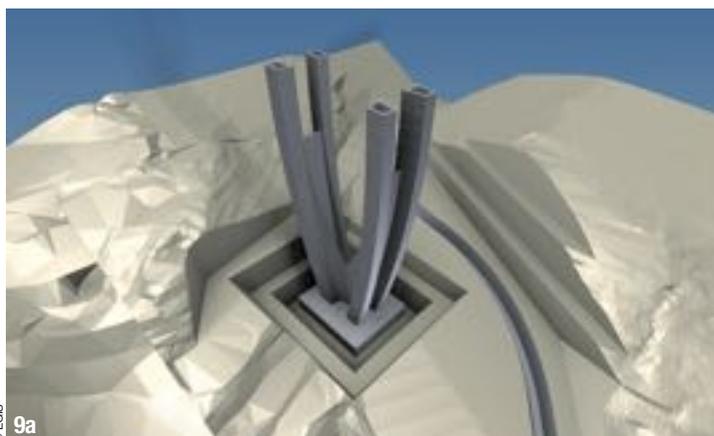
Au-delà de la complexité des formes, le niveau de détail des découpages en volume est parfois non supportable pour certains logiciels.

La modélisation de la précontrainte est également un sujet problématique avec certains outils, à cause des interactions avec les coffrages. La possibilité de définir des masques de passage des câbles et des règles de déviation, avec un calcul automatique de la géométrie 3D correspondante, cette possibilité existe dans les logiciels de calcul spécifiques aux ouvrages d'art (ST1, PCP, ...) mais pas dans les logiciels de dessin généralistes.

La problématique du BIM sur ces ouvrages est donc spécifique avec de vrais défis techniques à surmonter par les éditeurs de logiciel et par les opérateurs de CAO.

DEUX EXEMPLES DE BIM DE NIVEAU 1

Il est important de voir que le BIM n'est pas une chimère futuriste mais qu'il est déjà mis en application depuis plusieurs années. Comme évoqué précédemment, il y a plusieurs niveaux de maturité du BIM. ▶



9a



9b

Le niveau 1 du BIM est déjà mis en œuvre dans la plupart des gros projets d'ouvrages d'art en phase d'études d'exécution, car à cette phase la durée des études, la masse de documents et la nécessité d'un circuit de diffusion et de validation bien huilé rendent quasiment indispensable une structuration et une gestion automatisée des documents.

On présente ci-après deux exemples d'études d'exécution de gros ouvrages où un BIM de niveau 1 a été mis en place.

LE PONT HASSAN II À RABAT

La figure 7 est une photo de l'ouvrage à sa mise en service en 2012.

Ce franchissement de l'Oued Bouregreg à la sortie de Rabat est constitué de 3 tabliers parallèles de 330 m de longueur : 2 tabliers routiers de 11,10 et 14,50 m de largeur et un tablier pour tramway de 14,50 m de largeur totale. La travée principale a 76 m de longueur.

Les tabliers sont des caissons en béton précontraint à trois âmes de hauteur constante reliés par des entretoises. Ils ont été réalisés par pose d'éléments préfabriqués à l'aide d'un portique de manutention de 50 m d'ouverture enjambant toute la largeur de l'ouvrage. Les tabliers reposent sur des bracons courbes en forme de palme et sur des béquilles rectilignes convergeant vers les piles.

Les études comprennent aussi celles du franchissement du carrefour côté Rabat appelé « pont base nautique ». L'ensemble des structures est calculé au séisme.

La conception initiale a été faite par Marc Mimram. Egis JMI a eu en charge les études d'exécution de cet ouvrage de géométrie très complexe.

La CAO a été réalisée sur une maquette numérique 3D, utilisant le logiciel Inventor de l'éditeur Autodesk. Cette maquette numérique a intégré le tracé très contraint de la précontrainte des bracons en forme de palmes (figures 8a et 8b).

LE PONT HAUBANÉ SUR L'OUED BOUREGREG

La figure 1 est une image de la maquette numérique globale de l'ouvrage.

Il s'agit d'un ouvrage autoroutier de 952 m de longueur supportant deux chaussées de 12,25 m de largeur utile pour 2x3 voies de circulation.

Il comporte au sud un viaduc d'accès à 5 travées indépendantes, constituées chacune de 2x5 poutres préfabriquées précontraintes de 40 m de long et, au nord, un pont haubané à 3 travées de 183 m, 376 m et 183 m, construit par encorbellements successifs de part et d'autre des pylônes.

| Historique | | Utilisations | | Cas d'emploi | | Aperçu | |
|----------------------|----------------------------|--------------|-------------------|----------------------------------|------------------|-------------|--|
| Nombre de versions: | | 8 | | (Ne correspond à aucune version) | | | |
| Nombre de révisions: | | 4 | | | | | |
| Aperçu | Nom du fichier | Revision | Etat (historique) | Créé par | Archivé | Commentaire | |
| | EIE_Arm_sennelle_P2_nap... | C | Validé | EGIS.gimont | 25/06/2011 10:53 | | |
| | EIE_Arm_sennelle_P2_nap... | B | Validé | EGIS.gimont | 31/01/2011 10:44 | | |
| | EIE_Arm_sennelle_P2_nap... | A | Validé | EGIS.gimont | 30/11/2010 17:47 | | |
| | EIE_Arm_sennelle_P2_nap... | 0 | Validé | EGIS.gimont | 05/11/2010 16:29 | | |

© EGIS 10

10- Exemple d'outil de Gestion Electronique de Documents (GED).

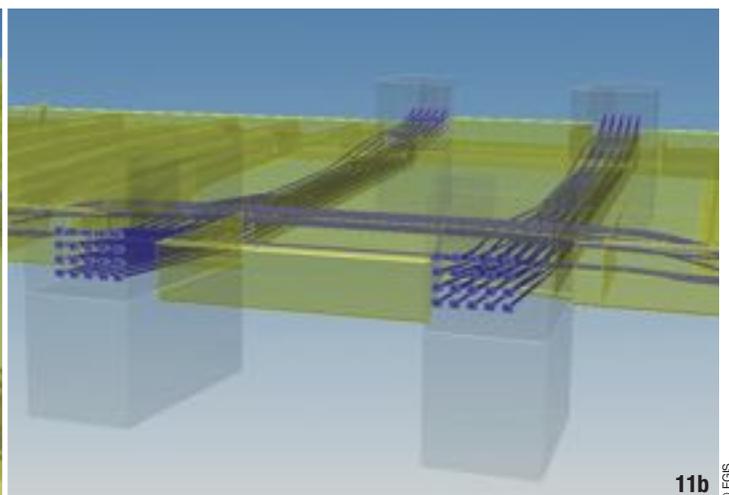
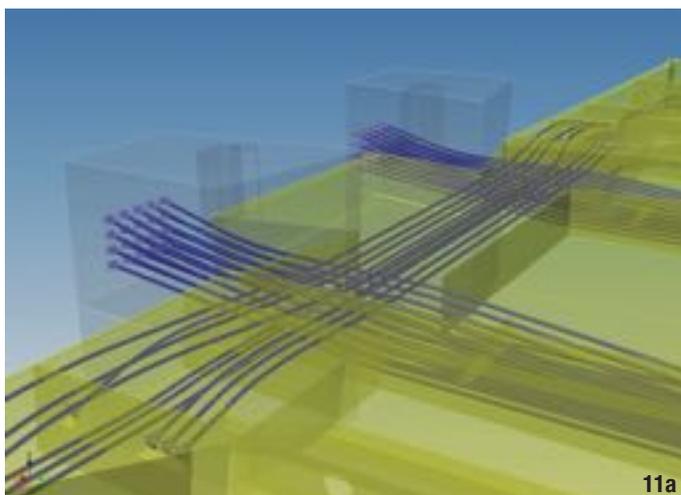
11a & 11b- Pont haubané sur l'oued Bouregreg - Modèle 3D de la précontrainte transversale du nœud pylône-tablier.

10- Example of an Electronic Document Management (EDM) tool.

11a & 11b- Cable-stayed bridge over Wadi Bouregreg - 3D model of transverse prestressing of the pylon-deck node.

Le tablier du pont haubané est encastré sur les pylônes et simplement appuyé à ses extrémités. Il se compose de deux nervures en béton précontraint de 2x 2,2 m reliées tous les 4 m par des pièces de pont en acier et supportant un hourdis de 25 cm d'épaisseur. Les pylônes de 185 et 197 m de hauteur sont constitués de 4 caissons courbes en béton armé convergeant au sommet et réunis à la base par un cinquième caisson central en X (figures 9a et 9b). La conception initiale de l'ouvrage a été faite par Setec Tpi - Maroc Setec - Strates. Egis JMI a eu en charge les études d'exécution pour le compte de l'entreprise chinoise attributaire du marché.

Dès le démarrage de l'affaire, afin de garantir la traçabilité des documents, il a été mis en place un circuit de validation interne des documents et un historique des révisions des documents grâce une gestion électronique de documents (GED) (figure 10).



© EGIS



© EGIS
12a



12b

Les plans de l'ouvrage ont tous été produits à partir d'une maquette numérique globale.

Grâce à ce modèle 3D, on a notamment pu voir l'interaction entre les câbles de précontrainte longitudinale et transversale au droit des pylônes et éviter les conflits (figures 11a et 11b). Ce modèle global 3D a également été très utile pour la définition de la boîte métallique d'ancrage des haubans, en tête de pylône (figures 12a et 12b).

CONCLUSION

Le BIM est un ensemble de méthodes de travail et d'outils informatiques

12- Pont haubané sur l'oued Bouregreg.
a- Modèle 3D de la boîte d'ancrage des haubans.
b- Boîte d'ancrage en cours de pose.

12- Cable-stayed bridge over Wadi Bouregreg.
a- 3D model of the stay cable anchor box.
b- Anchor box being installed.

permettant de gérer de manière structurée la complexité géométrique et l'ensemble des données d'un ouvrage, dans l'optique de faciliter le travail collaboratif et de fiabiliser les interfaces entre les intervenants d'un projet.

Il s'agit d'une démarche graduée qui peut être adaptée à des objets et des contextes variés. Il ne s'agit pas d'imposer des outils ou des méthodes chronophages quelle que soit la taille des projets.

Au travers des trois types d'ouvrages d'art évoqués précédemment, les ouvrages courants, les passerelles et les ouvrages exceptionnels, il apparaît

que les méthodes de travail et les outils nécessaires au BIM existent déjà et ne vont pas à l'encontre de la démarche traditionnelle de conception.

En revanche, certains outils « orientés BIM » ne répondent pas, à l'heure actuelle, aux problématiques des ouvrages d'art complexes et nécessitent donc des évolutions.

Enfin, il faut résister à la tentation de croire que la maquette de dessin unique signifie également une maquette de calcul unique. Il n'existe aucun logiciel permettant de répondre à toutes les problématiques de calcul d'un ouvrage d'art. □

ABSTRACT

BIM AND CIVIL ENGINEERING STRUCTURES

ARNOLD LEDAN, EGIS JMI - CARINE LION, EGIS JMI

BIM is a graduated approach which has various levels of maturity, making it possible to adapt it to projects of various sizes and in various environments. This set of methods should facilitate collaborative work on projects. Coming from the building sector, BIM can be adapted to the sector of civil engineering structures by making certain changes to the tools to adapt them to the specific needs. Pedestrian bridges are structures for which the approach is the most directly applicable, due to the strong interfaces between trades. For standard engineering structures, the tools are still too complicated and must acquire greater flexibility to adapt to the design approach. For exceptional engineering structures, some tools do not yet meet the needs of complex shapes. □

EL BIM Y LAS OBRAS DE FÁBRICA

ARNOLD LEDAN, EGIS JMI - CARINE LION, EGIS JMI

El BIM es un procedimiento escalonado que presenta distintos niveles de madurez que permiten adaptarlo a proyectos de tamaños y contextos variados. Todos estos métodos deben facilitar el trabajo colaborativo sobre los proyectos. Procedente de la construcción de edificios, el BIM encuentra también aplicación en el sector de las obras de fábrica mediante algunas adaptaciones de las herramientas para ajustarse a la especificidad de las necesidades. Las pasarelas de peatones son las construcciones a las que este procedimiento es más directamente aplicable dadas las fuertes interacciones entre oficios. Para las obras normales, las herramientas todavía son más complicadas y requieren una evolución hacia una mayor flexibilidad para ajustarlas al proceso de diseño. En obras excepcionales, algunas herramientas todavía no responden a las necesidades de geometrías complejas. □



BIM AU SERVICE DE MAHANAKHON, LA PLUS HAUTE TOUR DE THAÏLANDE

AUTEUR : FRANÇOIS DEGUENT, CHEF DE SERVICE ÉTUDES, BOUYGUES-THAÏ

DU HAUT DE SES 314 MÈTRES, LA TOUR MAHANAKHON, SITUÉE AU CŒUR DE LA CAPITALE THAÏLANDAISE, DEVIENDRA EN 2016 LA PLUS HAUTE TOUR DU PAYS. CE BÂTIMENT EXCEPTIONNEL, IMAGINÉ PAR L'ARCHITECTE OLE SCHEEREN, PRÉSENTE UNE ARCHITECTURE ÉLABORÉE, DÉLIMITÉE PAR UNE ENVELOPPE TORSADÉE ET PIXELLIÉE DONT DÉCOULE UN DESIGN UNIQUE POUR CHACUN DE SES 77 ÉTAGES. RÉSULTANT DE CETTE ARCHITECTURE SINGULIÈRE, LA COMPLEXITÉ DE LA STRUCTURE, DE LA FAÇADE ET DES CORPS D'ÉTAT TECHNIQUES ONT NATURELLEMENT AMENÉ LES CONSTRUCTEURS À UTILISER LES TECHNOLOGIES BIM POUR MENER À BIEN LA CONCEPTION, LA SYNTHÈSE ET LA CONSTRUCTION DE CE BÂTIMENT INSOLITE.

LE PROJET MAHANAKHON

Situé au pied de la station de métro aérien Chongnonsi, au cœur du centre d'affaires de la vibrante capitale Bangkok, le projet Mahanakhon est constitué de deux bâtiments disposés sur un terrain de 15 000 m² (figure 1).

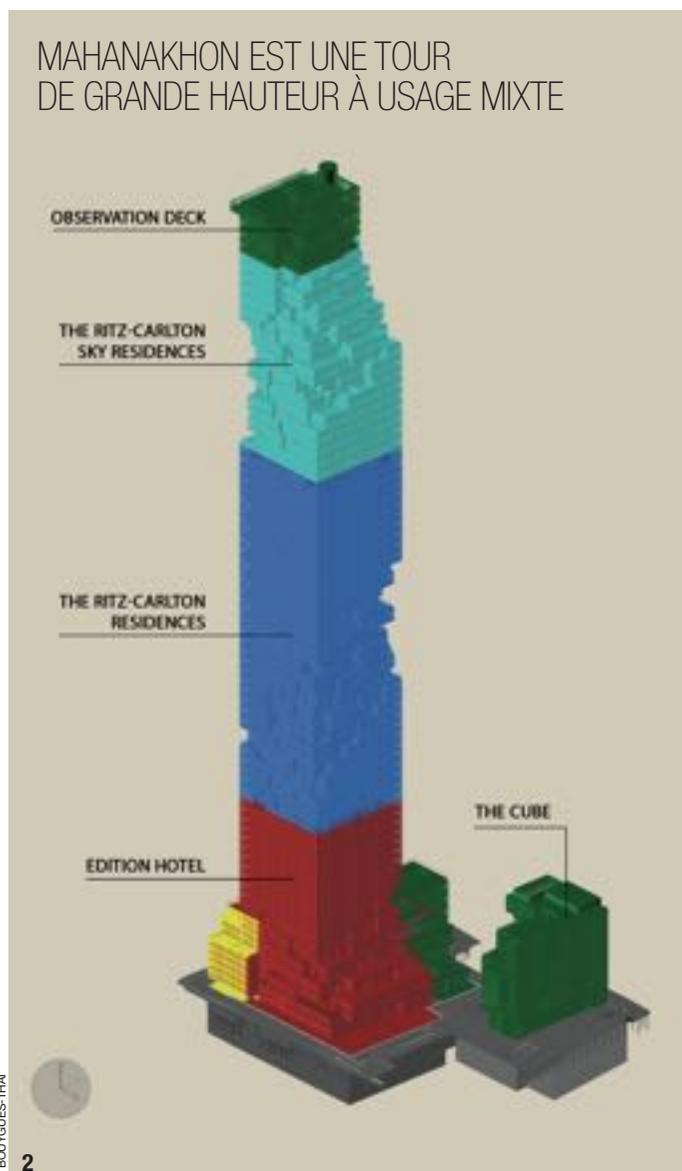
Le « Cube » est un centre commercial de sept étages avec quatre niveaux de parking sous-terrain et l'imposante tour Mahanakhon est destinée à abriter 210 appartements haut de gamme exploités par Ritz-Carlton, un hôtel Marriott Edition de 150 chambres, 10 000 m² d'espaces commerciaux et, au sommet de la tour, un observatoire accessible aux visiteurs et un « Sky Bar » au design futuriste (figure 2). La surface de plancher atteint 130 000 m² pour l'ensemble du projet. Cette conception insolite est sortie de l'imagination de l'architecte

1- La tour Mahanakhon, au cœur de Bangkok, culmine à 314 m.

2- Mahanakhon est une tour de grande hauteur à usage mixte.

1- The Mahanakhon Tower, in the heart of Bangkok, is 314 m high.

2- Mahanakhon is a high-rise tower for mixed use.



Ole Scheeren de l'agence Office for Metropolitan Architecture (OMA), déjà remarqué pour la conception du quartier général de la China Central Television à Pékin (CCTV building).

UNE CONCEPTION ATYPIQUE

Cet ouvrage est exceptionnel à plus d'un titre : d'abord par sa taille puisqu'il sera l'immeuble le plus haut et le plus luxueux de Thaïlande en culminant à 314 m, soit à peine moins que la tour Eiffel ; puis par son aspect extérieur avec sa façade « pixelisée » qui se désagrège dans un mouvement héli-coïdal, créant un dialogue entre la vie intérieure de l'édifice, dont la structure interne est à peine dévoilée, et le monde extérieur (figure 3). Le découpage original des pixels de façon quasiment organique rend chaque étage unique et génère une grande variété de dispositions intérieures à chaque niveau de la tour. Aucun étage de Mahanakhon n'est identique à un autre, ce qui rend l'exercice de synthèse des corps d'état architecturaux et techniques particulièrement laborieux et impose une révision systématique de la coordination à chaque étage. C'est d'ailleurs l'une des raisons pour laquelle l'utilisation de maquettes numériques 3D et de la détection automatique d'interférences est quasiment indispensable à la réalisation de ce projet.

D'un point de vue structurel, la présence des pixels qui s'enroulent autour du bâtiment oblige les poteaux à se relocaliser vers le noyau de la tour plutôt qu'en rive de dalle.

© BOUYGUES-THAI

© BOUYGUES-THAI



3- La construction des pixels constitue un vrai challenge.

4- Les pixels génèrent une abondance de porte-à-faux.

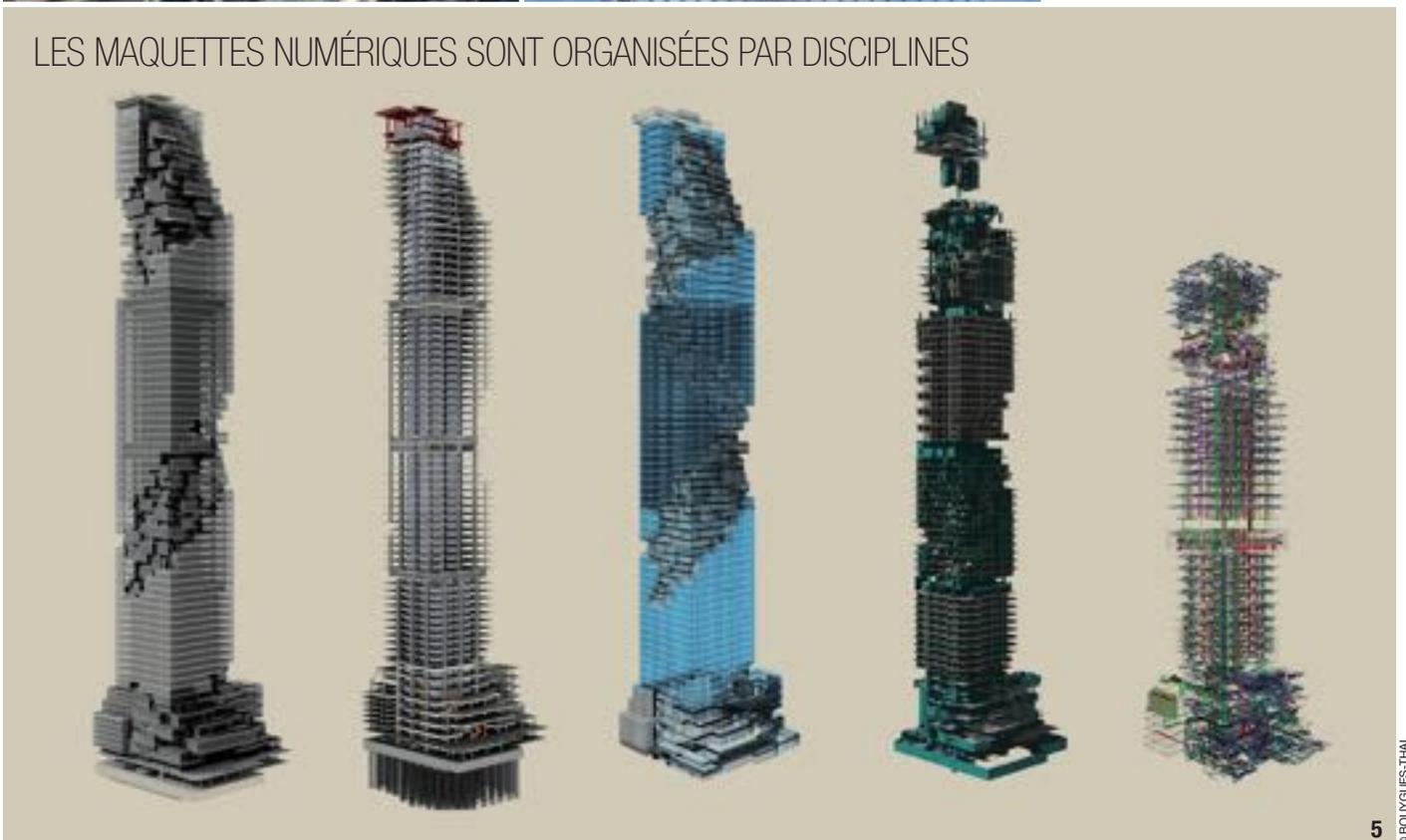
5- Les maquettes numériques sont organisées par disciplines.

3- Construction of the pixels is a real challenge.

4- The pixels generate a large number of cantilevers.

5- The computer models are organised by discipline.

LES MAQUETTES NUMÉRIQUES SONT ORGANISÉES PAR DISCIPLINES



De cette façon, ils restent contenus dans l'enveloppe extérieure du bâtiment, y compris dans les zones de retrait des pixels.

Cela implique une descente de charge déséquilibrée entre le noyau central et les poteaux qui reprennent à eux seuls une part importante des charges

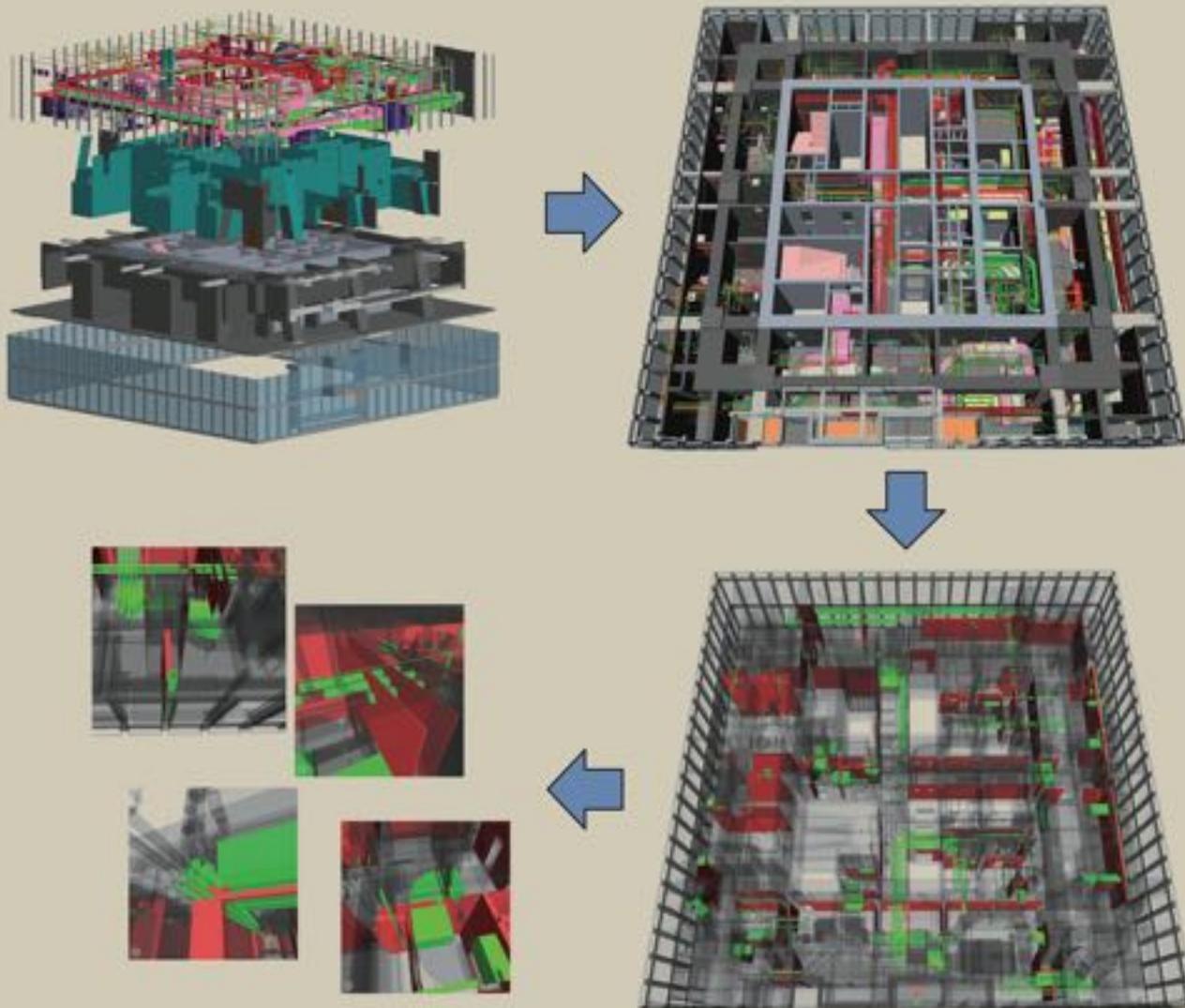
verticales. Ce déséquilibre nécessite l'introduction de trois niveaux de transfert structurels constitués d'imposants voiles en béton d'une hauteur équivalente à deux étages, afin de connecter les poteaux au noyau central et de redistribuer les charges trop importantes vers ce dernier.

Ces double-étages de transferts structurels servent également de niveaux de transfert pour les corps d'état techniques.

Le déplacement des poteaux vers le centre de la structure, dû au découpage des pixels, génère également une autre difficulté : l'abondance de porte-à-faux

allant jusqu'à 8 m, en rive de dalle, à chaque étage (figure 4).

Au total, l'ensemble des éléments en porte-à-faux représente environ 30 % de la surface totale de plancher, ce qui nécessite l'utilisation de poutres et planchers précontraints à tous les étages.



© BOUYGUES-THAI 6

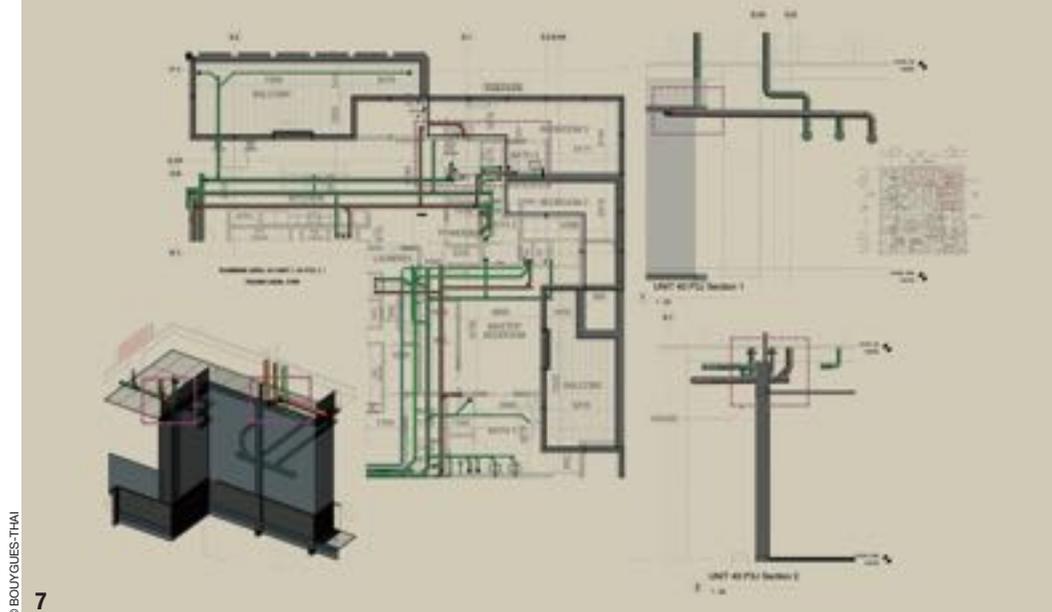
6- Détection d'interférence, suite à l'assemblage des modèles 3D.

7- Toutes les vues extraites de la maquette sont concordantes.

6- Interference detection after assembly of the 3D models.

7- All the views excerpted from the model correspond.

TOUTES LES VUES EXTRAITES DE LA MAQUETTE SONT CONCORDANTES



© BOUYGUES-THAI 7

Les fondations de la tour représentent également une prouesse technique puisqu'elles sont composées d'un imposant radier en béton de 23 000 m³ et 9 m d'épaisseur, soutenu par 130 pieux de 65 m de profondeur, enfouis dans un sol principalement argileux. Ce système de fondation doit sou-

tenir le poids de la tour qui s'élève à 320 000 t. Les effets de tassement différentiel et de décompression des sols à long terme doivent être totalement maîtrisés pour assurer la stabilité de la tour, soumise aux contraintes de vent et aux contraintes sismiques relativement élevées pour la région.

OBJECTIFS DU BIM

Conscient de la complexité du design, le maître d'ouvrage a chargé l'entreprise principale, Bouygues-Thai, d'une mission complémentaire de coordination avec utilisation péremptoire d'une maquette numérique. La singularité du design architectural et structurel à

chaque niveau rend la coordination des différents corps d'état particulièrement compliquée et impose de revoir entièrement la synthèse une nouvelle fois à chaque étage.

Dans ces conditions, le recours aux technologies BIM est pratiquement inévitable.

L'objectif principal du BIM étant donc d'assurer la synthèse, notamment grâce à la détection automatique d'interférences, la maquette est aussi développée dans le but de produire tous les plans de coffrage et de partitions intérieures directement à partir des modèles structure et architecture.

La production des plans d'exécution à partir de ces modèles présente l'énorme avantage d'être déjà coordonnée avec toutes les autres disciplines, ce qui permet d'éviter un grand nombre d'erreurs tout en accélérant la réalisation des plans. Toutes les réservations, finalisées lors de la coordination des réseaux, se reflètent déjà dans chaque modèle et s'intègrent automatiquement dans les plans d'exécution des différentes disciplines.

Tous les plans de structure, hors ferrailage, et de partitions intérieures sont donc réalisés directement à partir des modèles BIM, avec un export final en fichiers CAD uniquement pour l'archivage et pour permettre le partage d'information avec les sous-traitants qui n'utilisent pas la technologie BIM.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE

L'ensemble de la maquette numérique est réalisé et administré par l'entreprise Bouygues-Thaï, sur base des plans 2D et des cahiers des charges des différents consultants, sans aucun modèle provenant des concepteurs du projet en phase d'avant-projet. Seul le sous-traitant corps d'états techniques a graduellement participé à la production des maquettes en cours de projet, afin de préparer ses propres plans d'exécution et pour faciliter la coordination avec Bouygues-Thaï.

La maquette globale est composée de plusieurs fichiers centraux accessibles sur un serveur local et organisés suivant quatre disciplines : structure, architecture extérieure (la façade en mur-rideau), architecture intérieure et corps d'états techniques (figure 5). Chaque discipline comporte elle-même plusieurs fichiers liés entre eux pour reconstituer l'ensemble du projet.

Le découpage des fichiers par zones ou par niveaux est préétabli au démarrage du projet en fonction de leur taille estimée, dans le but de garantir une vitesse raisonnable d'ouverture et d'enregistrement des fichiers. Les détails et annotations nécessaires aux plans d'exécution alourdissent considérablement les fichiers. Il est donc recommandé d'en tenir compte lors du découpage.

Le nombre total de fichier centraux, tous réunis sur un même serveur pour le travail collaboratif, s'élève à 112 :

- Structure : 12 fichiers centraux ;
- Architecture extérieure (façade) : 5 fichiers centraux ;
- Architecture intérieure : 18 fichiers centraux ;
- Corps d'états techniques : 1 fichier central par étage, soit 77 fichiers centraux.

Plus de 15 personnes travaillent simultanément sur ces modèles. Le travail collaboratif est basé sur les fichiers centraux partagés sur un serveur local (LAN) où chaque utilisateur travaille avec une copie locale sur son poste de travail, ensuite synchronisée à intervalles réguliers avec le fichier central correspondant.

Des sous-projets sont créés dans chaque fichier central afin d'autoriser

ou de restreindre la modification de certaines zones ou catégories d'éléments du projet à certains utilisateurs. Le but étant de mieux contrôler le travail collaboratif en divisant chaque modèle en parties distinctes dont chaque utilisateur est désigné responsable.

Toutes les maquettes numériques sont ensuite regroupées par le « BIM manager » afin d'obtenir une maquette numérique globale dite de coordination.

PROCESSUS COLLABORATIF DE SYNTHÈSE ET RÉSOLUTION D'INTERFÉRENCES

Pour commencer, les modèles 3D constituant la maquette numérique sont finalisés sur base des plans 2D des consultants et revus par les « coordinateurs BIM », chacun d'eux étant responsable de leurs modèles dans leurs disciplines respectives. Le

sous-traitant corps d'états techniques soumet alors ses dernières maquettes en date, et le BIM manager assemble les différents fichiers dans un logiciel spécialement dédié à la détection automatique d'interférence (Autodesk Navisworks Manage).

Une série de tests d'interférence bien distincts est préétablie par le BIM manager en réponse aux objectifs de la session de coordination. La détection automatique peut être focalisée sur un type très particulier d'interférences (par exemple, réseaux ventilation contre-voiles bétons du noyau central, afin d'identifier les réservations nécessaires) ou elle peut couvrir une classe de conflits beaucoup plus vaste (tous corps d'états techniques contre tous faux-plafonds par exemple) (figures 6 & 7). L'équipe technique de Bouygues-Thaï organise alors des réunions de

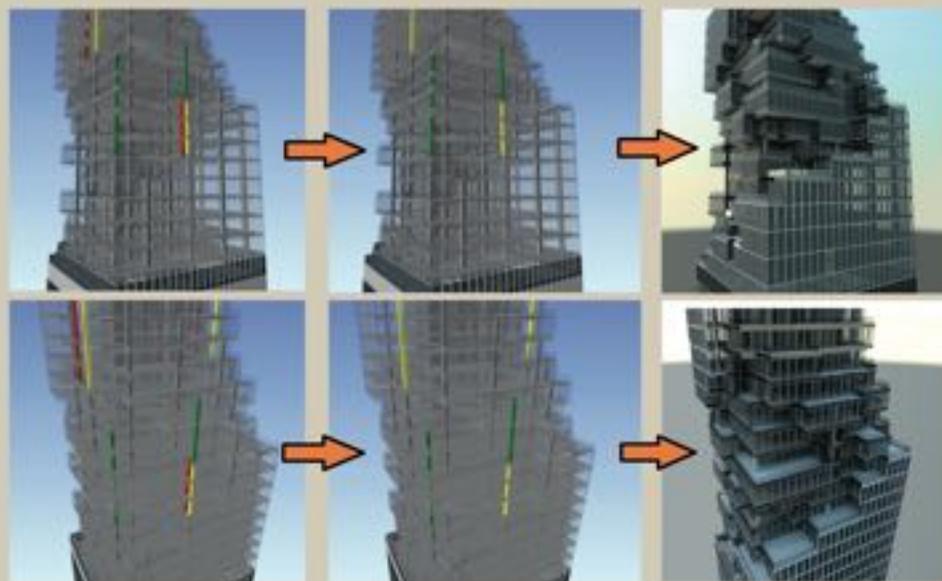


© BOUYGUES-THAI

8- Réunion hebdomadaire de coordination.
9- Visualisation en 3D de variantes structurales.

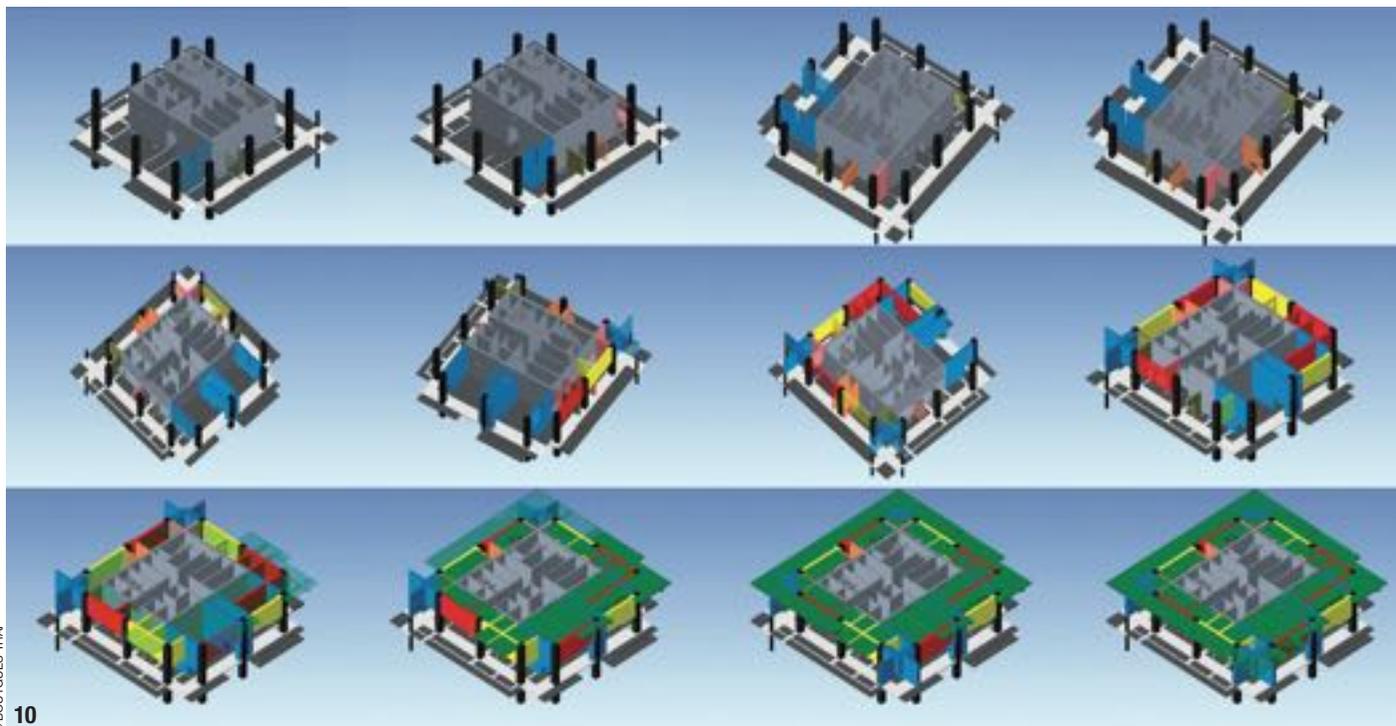
8- Weekly coordination meeting.
9- 3D view of structural variants.

VISUALISATION EN 3D DE VARIANTES STRUCTURELLES



9

© BOUYGUES-THAI



© BOUYGUES-THAI

10

10- Simulation du phasage d'un niveau de transfert.

11- Échafaudages de plus de 50 m pour construire les pixels.

10- Simulation of the sequencing of a transfer level.

11- More than 50 m of scaffolding to build pixels.



© BOUYGUES-THAI

11

coordination hebdomadaires dans une grande salle équipée d'un projecteur, et passe en revue avec chaque participant les résultats des tests d'interférences et autres problèmes détectés grâce à la maquette numérique. Lors de ces réunions, les différents intervenants concernés peuvent dès lors négocier la résolution de chaque problème en visualisant la maquette de coordination en temps réel. L'arbitrage des conflits est ensuite assuré par le représentant du maître d'ouvrage (figure 8).

Finalement, le BIM manager compile, mutualise et établit les rapports de synthèse à la suite de chaque réunion de coordination. Ces derniers sont distribués à chacun pour une mise à jour coordonnée de leurs plans ou de leurs maquettes numériques.

Le processus de compilation-test-révision des modèles doit souvent être

répété quelques fois, lors de séances successives, avant que les solutions proposées convergent toutes vers une conclusion finale. La synthèse est alors terminée, tous les problèmes détectés sont résolus et tous les changements sont intégrés dans la maquette.

Les plans d'exécutions issus de la maquette sont dès lors automatiquement coordonnés, occasionnant un gain de temps considérable par rapport au processus classique de synthèse en 2D.

AUTRES BÉNÉFICES ET UTILISATIONS DU BIM

Aux deux objectifs principaux, synthèse et production de plans d'exécution coordonnés, viennent s'ajouter d'autres utilisations secondaires du BIM, dont les bénéfices parfois importants peuvent être exploités par différents intervenants du projet.

MODIFICATIONS DU DESIGN ARCHITECTURAL ET STRUCTUREL

D'importants changements structurels aux derniers étages ont dû être apportés en cours de chantier, à partir du troisième niveau de transfert, avec d'importantes répercussions sur le design architectural. Certains poteaux ont été relocalisés et certains planchers ont été agrandis suite aux requêtes spécifiques d'acheteurs exigeants. Dans ce cas, l'utilisation de la maquette 3D pour la présentation des variantes structurelles proposées aux architectes et au maître d'œuvre a grandement facilité leur négociation et leur approbation finale (figure 9). La modélisation en 3D a dès lors permis de réagir très rapidement face aux changements demandés par les architectes, les ingénieurs ou le client, en facilitant les échanges d'idées et d'informations.

MÉTHODES ET SÉCURITÉ

Grâce à la visualisation 3D, la géométrie particulièrement complexe du projet est totalement maîtrisée par l'entreprise générale.

Les équipes de production l'utilisent pour simuler le phasage des travaux des niveaux de transfert et pour optimiser des méthodes de construction. Pour les double-étages de transfert, par exemple, l'optimisation en 3D du phasage d'éléments structurels particulièrement massifs a permis aux équipes de production de réaliser un gain de temps important (figure 10). Aux niveaux intermédiaires, certains coffrages de planchers ont nécessité des échafaudages en rive de dalle d'une hauteur de 54 m, pour combler le vide structurel créé par les pixels. Dans ce cas, la visualisation 3D a été précieuse non seulement pour l'optimisation des méthodes mais aussi pour le contrôle des risques relatifs à la sécurité (figure 11).

QUANTIFICATION

La maquette numérique est également mise au service des équipes de production pour le calcul rapide de certaines quantités suivant les besoins du chantier.

Les volumes de béton sont extraits du modèle en quelques clics seulement, ce qui permet aux ingénieurs sur chantier de vérifier très rapidement les quantités avant d'effectuer leurs commandes.

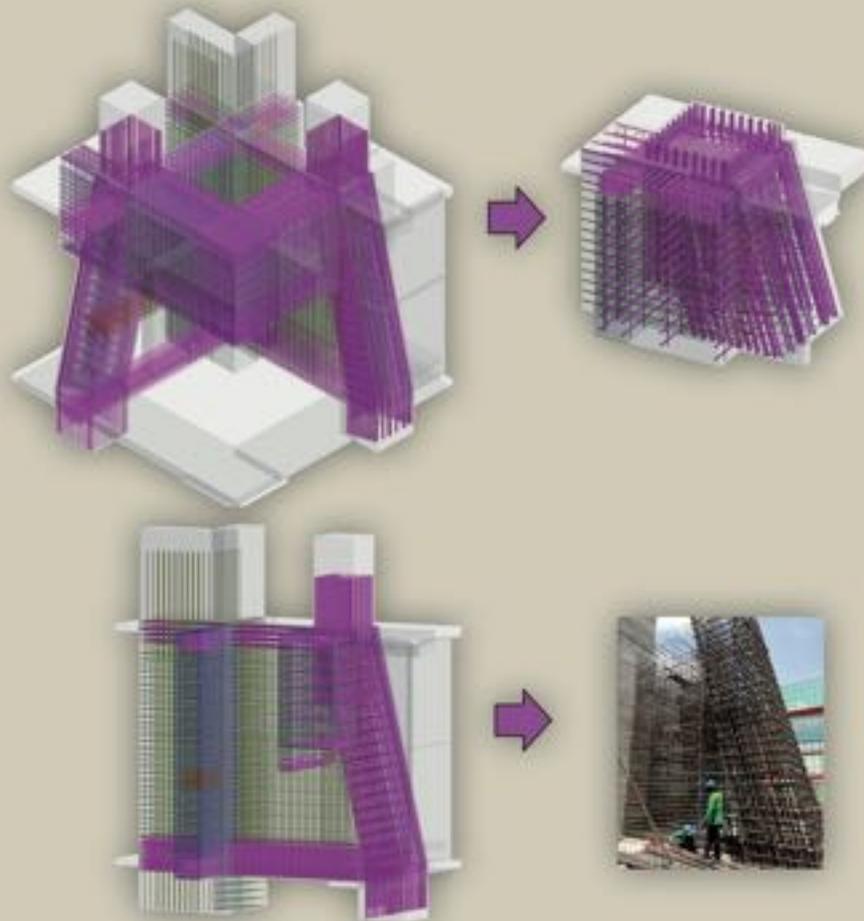
VISUALISATION 3D DU FERRAILLAGE

Une modélisation 3D du ferrailage a été testée uniquement pour les éléments les plus complexes de la structure afin de résoudre les problèmes de congestion d'armatures aux endroits les plus sensibles (figure 12). Aux niveaux de transfert par exemple, tous les éléments en béton sont fortement armés et les connections des poteaux principaux aux voiles, eux-mêmes connectés au noyau central, sont particulièrement encombrées.

CONCLUSION

La modélisation numérique permet de visualiser le projet beaucoup plus concrètement que sur plans et de mieux appréhender ses difficultés.

Cet outil innovant aura permis aux constructeurs de la plus haute tour de Thaïlande de réaliser un ouvrage complexe en remédiant plus facilement aux défauts et conflits éventuels. Grâce à l'anticipation des difficultés engendrées par le design, la synthèse, ou les méthodes d'exécution, l'utilisation des outils numériques offre un gain de temps et de qualité qui les rend quasiment indispensables à la réalisation de projets de plus en plus élaborés, dans des délais toujours plus compétitifs. □



12

© BOUYGUES-THAÏ

12- Modélisation de ferrailage en 3D.

12- 3D reinforcement modelling.

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Hauteur totale : 314 m, 77 étages
- Superficie globale : 150 000 m²
- 194 appartements de luxe, 150 chambres d'hôtel, 10 000 m² de surfaces commerciales
- Matériaux : 95 000 m³ de béton, 15 000 t d'acier
- Radier de fondation : 25 000 m³ de béton
- Main d'œuvre : 700 collaborateurs de Bouygues-Thaï en pointe, dont 35 % de femmes
- 2 000 collaborateurs sur la globalité du projet

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Pace Development

MAÎTRE D'ŒUVRE :

Office of Metropolitan Architecture (OMA), Ole Scheeren (Buro OS), Hok Lok Siew

ENTREPRISE PRINCIPALE :

Bouygues-Thaï

BUREAUX D'ÉTUDES STRUCTURE :

Bouygues-Thaï, Warnes Associates, Arup

BUREAUX D'ÉTUDES CORPS D'ÉTATS TECHNIQUES :

Palmer & Turner, Aurecon

PROJECT MANAGER/ CONSTRUCTION MANAGER :

Pace Development, Archetype

QUANTITY SURVEYOR :

Langdon & Seah (Thailand) Ltd

ARCHITECTURE D'INTÉRIEUR :

David Collins Studio, Kengo Kuma and Associates, Pace Development

SOUS-TRAITANT PRÉCONTRAÎTE : Vsl

ABSTRACT

BIM USED FOR MAHANAKHON, THE HIGHEST TOWER IN THAILAND

FRANÇOIS DEGUENT, BOUYGUES-THAÏ

The highest tower in Thailand, Mahanakhon, is currently being built in the heart of Bangkok using a 3D computer model and BIM technologies. The complexity of the architectural design, the structure and the technical trades represents a real challenge for the builders of this unusual building, responsible for performing the integration of all trades. The use of digital tools to produce the working drawings in this case takes on its full meaning by allowing the builders to better understand the difficulties of the project and detect and solve conflicts in advance, thus achieving a considerable time saving and enhanced quality. □

EL BIM AL SERVICIO DE MAHANAKHON, LA TORRE MÁS ALTA DE TAILANDIA

FRANÇOIS DEGUENT, BOUYGUES-THAÏ

La torre Mahanakhon, la más alta de Tailandia, se encuentra actualmente en construcción en el centro de Bangkok. El proyecto se basa en la utilización de una maqueta digital en 3D y de tecnologías BIM. La complejidad del diseño arquitectónico, de la estructura y de las distintas actividades técnicas constituye un enorme desafío para los constructores de este insólito edificio, responsables de sintetizar la labor de todos los especialistas que intervienen en el proyecto. Ello justifica plenamente el uso de herramientas digitales para elaborar planes de ejecución, en tanto que permiten a los constructores comprender mejor las dificultades del proyecto y detectar y resolver anticipadamente los conflictos, logrando así un ahorro de tiempo y una mejora de la calidad considerables. □

LE PROCESSUS FERRAILLAGE 3D

AUTEUR : ÉRIC TOURNEZ, DIRECTION TECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS
VISUELS : DAVID DUMORTIER, DIRECTION TECHNIQUE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

LES OUVRAGES QUE NOUS CONSTRUISONS SONT DE PLUS EN PLUS COMPLEXES. CETTE COMPLEXITÉ NOUS ENTRAÎNE À LES CONSIDÉRER SOUS UN ANGLE INDUSTRIEL AFIN D'AMÉLIORER, PAR UNE MEILLEURE MAÎTRISE DES RISQUES, LA QUALITÉ, LE DÉLAI ET LE COÛT. DANS LA DÉMARCHE BIM, UN DES MAILLONS MANQUANT DE LA CHAÎNE NUMÉRIQUE EST LA MODÉLISATION EN 3D DES ARMATURES DEPUIS LA CONCEPTION, EN PASSANT PAR LA FABRICATION, JUSQU'À LEUR MISE EN PLACE. UNE DÉMARCHE FERRAILLAGE 3D A ÉTÉ DÉVELOPPÉE CHEZ BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS.

CONTEXTE ET GENÈSE DE LA DÉMARCHE

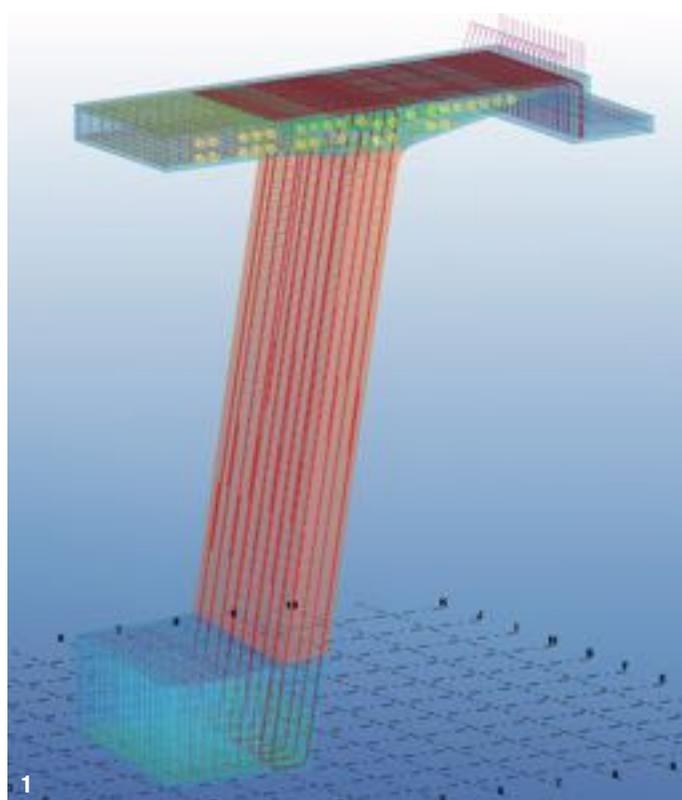
Dans le monde du BTP, depuis plus de 20 ans, les plans d'exécution d'armatures sont produits avec des logiciels de dessin en 2D (voire encore faits à la main) selon un processus propre à la culture d'entreprise. Ce processus, rodé au sein des bureaux d'études, montre ses limites pour des ouvrages de génie civil lourd et n'est pas adapté pour une démarche BIM.

Bouygues Travaux Publics mène depuis plusieurs années une démarche pour développer un processus de ferrailage en 3D afin de répondre aux problématiques rencontrées sur les chantiers : forte densité d'armatures, géométries complexes du béton, nombreux inserts, préfabrication, pénibilité sur chantier, sans oublier les demandes de modifications ou d'adaptation de dernières minutes, coûteuses et sources de non-qualité.

Il est certain que l'étude d'une centrale nucléaire, d'une station d'épuration, d'un ouvrage d'art majestueux ou encore des fondations d'une tour de grande hauteur donne du sens à cette démarche, mais l'analyse de la constructibilité ou de la montabilité des armatures sur site n'est pas suffisante, ni une fin en soi.

DES PREMIERS ESSAIS 3D AU CHOIX D'UN LOGICIEL 3D ORIENTÉ BIM

De nombreuses études partielles de ferrailage en 3D ont été réalisées pour décortiquer le plus souvent des nœuds complexes ou des zones très denses avec un seul objectif : donner



1
© BOUYGUES TP

une image compréhensible de la zone. Cependant les logiciels de modélisation standard du marché trouvent rapidement leurs limites avec un nombre important de barres d'armatures. Ainsi, trop souvent, cette démarche est énergivore parce que le logiciel ne possède aucune fonctionnalité métier ; imaginez le temps de modélisation d'un cadre croisé à 135° ! Par ailleurs, dans cette action, le projeteur ne conçoit pas directement le ferrailage en 3D, il recopie simplement une étude faite en

1- Demi-voussoir de pont.

1- Half-segment of a bridge.

2D (par une action de « remontage » en 3D), et il doit faire face à la difficulté de cohérence entre plusieurs plans 2D souvent représentés schématiquement. Nous ne parlons pas ici d'une éven-

tuelle modification ou amélioration du ferrailage en 3D, car cette modélisation n'est malheureusement pas dotée de notion paramétrique : tout changement nécessite donc une nouvelle modélisation. Enfin, il est difficile, voire impossible, d'extraire un plan 2D d'armature traditionnel depuis ce modèle 3D (plan 2D encore contractuel et nécessaire au compagnon pour le montage sur site). Un plan d'action a donc été mis en œuvre afin d'améliorer le processus. Le choix du logiciel d'armatures en 3D est le fruit d'un cahier des charges étudié et rédigé avec nos projeteurs ferrailleurs, d'un benchmark minutieux et d'une évaluation approfondie en tenant également compte des préoccupations des chantiers : la plateforme logiciel devait répondre à différentes problématiques et exigences exposées ci-dessus, mais aussi amener un progrès significatif dans la démarche BIM, sans remettre en cause complètement les processus traditionnels, même si cette démarche s'apparente à un réel projet de rupture comme exposé dans la suite.

VALORISATION DU PROCESSUS ET DÉMARCHE COLLABORATIVE

Les premiers essais de conception de ferrailage en 3D ont été réalisés par un projeteur sur plusieurs modèles-types à ferrailer, afin de valider les principales fonctionnalités attendues du logiciel et afin de s'appropriier son nouvel environnement de travail.

Passé le temps d'adaptation normal et nécessaire pour appréhender cette technologie, le projeteur trouve une nouvelle dimension à son métier : ▷

il prend réellement part à la conception du ferrailage avec un niveau d'implication et d'exigence supérieur, en comparaison au dessin traditionnel. Il se remet plus souvent en question, car la conception en 3D est plus visuelle et volumique et, de fait, il sollicite d'avantage l'ingénieur qui calcule en parallèle la structure béton. Le binôme ingénieur/projeteur n'en est que plus fort ; ainsi le projeteur est-il valorisé, laissant les tâches sans valeur ajoutée au logiciel (par exemple la mise en plan).

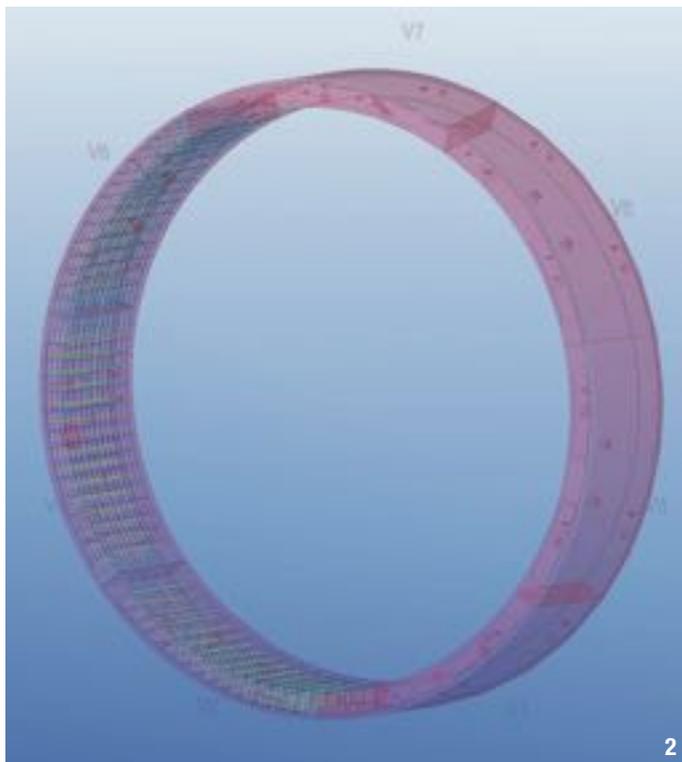
L'ingénieur, quant à lui, prend souvent plaisir à visualiser facilement sa conception grâce à un logiciel de visualisation gratuit et très performant et, par là-même, il peut optimiser ou améliorer son travail.

Lors des premières réalisations d'études de ferrailage en 3D, nous nous sommes rendus compte que le binôme ingénieur/projeteur ne pouvait pas rester isolé, car la démarche appelle naturellement à partager les optimisations, les contraintes, les difficultés, voire les impossibilités, avec le client et le constructeur (souvent les méthodes et/ou les équipes de production).

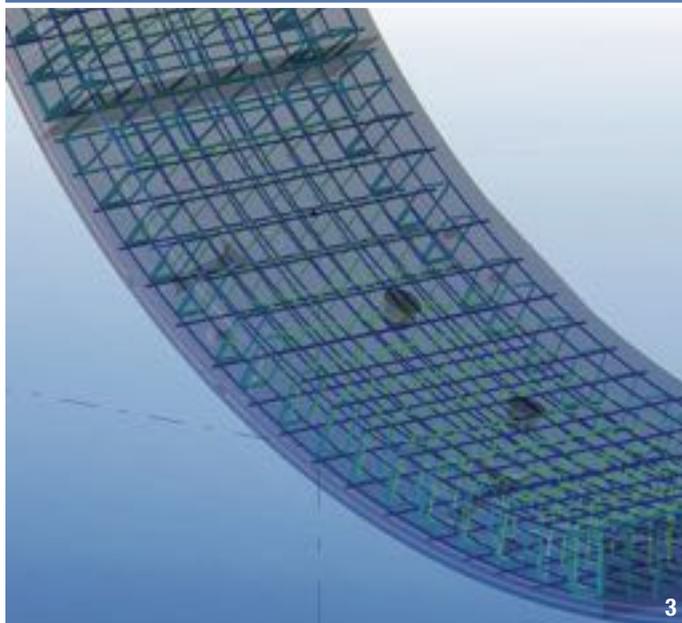
Le dialogue est plus facile et efficace avec le client autour de problématiques de gestion d'interférences entre le ferrailage et des inserts dans le béton (qui sont souvent difficiles à déplacer) ou autour de propositions d'innovations constructives telles que la préfabrication de cages d'armatures ou la préfabrication d'éléments en béton. Il est bien-sûr aussi important de prendre en compte les exigences et les contraintes des méthodes du chantier dès la phase de conception du ferrailage.

Nous voyons donc dans cette démarche qu'il est important d'avoir une cohésion au sein du triptyque client-ingénierie-constructeur, avec une adhésion commune à la démarche où chaque protagoniste ne se concentre plus sur son propre intérêt mais sur le gain global du projet avec une confiance établie. Cette approche n'est pas toujours simple à mettre en place dans nos fonctionnements contractuels en vigueur et c'est pourquoi nous pensons qu'il faut parler de projet de rupture.

En fait, un quatrième protagoniste doit prendre part à la démarche : l'armaturier (le fabricant et le poseur). Aujourd'hui, même si nous sommes encore au début de nos réflexions, la prise en compte des besoins de tous les acteurs est nécessaire car, dans l'acte de conception en 3D des armatures, le projeteur et les règles de modélisation



2



3

© BOUYGUES TP

intègrent des spécifications de l'armaturier. Il ne faut pas oublier le métier de décortiqueur chez l'armaturier, qui analyse les plans d'armatures en 2D, avant de lancer la production, et imaginer les séquences de pose.

Enfin, au-delà de l'aspect collaboratif entre les différents acteurs, le mode collaboratif intégré a été testé entre projeteurs ferrailleurs, au sein d'une même maquette partagée. Là encore, c'est un réel changement de culture : il faut accepter de montrer plus souvent sa copie. En effet, même si chaque projeteur travaille dans des zones qui lui sont dédiées, il est impératif qu'il

ait une vision des aciers en interface (attentes, reprises, etc.) pour assurer la cohérence globale. Structuration de la donnée, règles de bonne conduite et rigueur sont les maîtres-mots du succès.

ET LES PLANS 2D DANS TOUT ÇA ?

Cette démarche n'oublie pas les plans 2D car, même si l'on imagine que d'ici quelques années de nouvelles technologies permettront de se passer des impressions papier, il faut amener cette transition en douceur.

Le choix du logiciel imposait donc aussi un outil de production de plans 2D efficace et robuste, gérant les nomenclatures d'aciers comme on en avait l'habitude, voire de meilleure facture. L'objectif majeur est de produire des plans 2D en minimisant le plus possible les tâches manuelles du projeteur. Cela a plus d'un intérêt : productivité, automatisation, uniformité dans les plans quel que soit le projeteur, qualité.

Les plans 2D sont utilisés par tous les acteurs. Le client valide que la conception a pris en compte ses exigences. Le contrôleur externe appose son tampon pour exécution. Le compagnon sur le chantier posera les armatures. « Pourquoi ? Parce qu'on a toujours fait comme ça, c'est la réglementation ! », ... et parce que les outils et les processus de validation d'une maquette numérique ne sont pas adoptés, car pas encore opérationnels.

Cependant, si on imagine un jour ne plus produire de plans 2D d'armatures mais seulement une maquette numérique dans un environnement BIM, comment les ingénieries chiffreront-elles leurs prestations d'études d'exécution ? Aujourd'hui très souvent le plan reste encore l'unité de chiffrage.

Car un des travers ou une des opportunités - selon le point de vue - qui apparaît avec la production de plans à partir d'un modèle 3D est l'augmentation du nombre de plans. Ceci est dû en particulier à l'automatisation de certaines tâches rendant facile la création et la mise à jour du plan, mais aussi lié au fait que l'on crée des plans moins chargés et qu'ils sont structurés différemment, avec plus de vues (par lit d'armatures, coupes, détails - n'oublions pas que tous les aciers sont représentés dans la maquette, il n'y a plus de notion schématique). Alors se pose encore la question du prix d'un plan d'armatures : acceptera-t-on de générer et de gérer plus de plans pour un même coût ? Imagine-t-on des for-

2- Anneau complet d'un tunnel.

3- Voussoir d'un anneau de tunnel.

2- Complete ring of a tunnel.

3- Segment of a tunnel ring.

mats différents (passer du format A0 au cahier A3 avec notice de montage) ? La question reste ouverte.

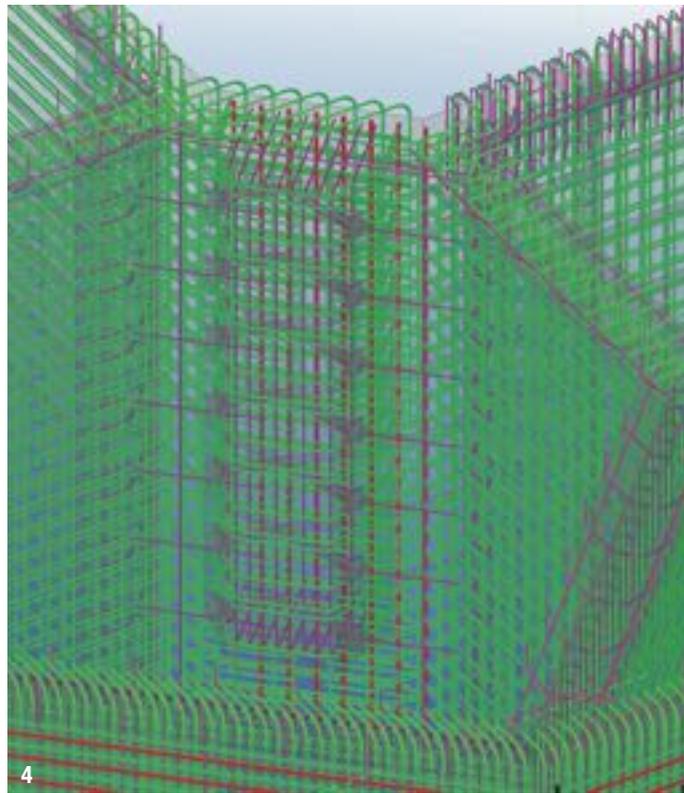
UN LOGICIEL EFFICACE ET ÉVOLUTIF : C'EST IMPÉRATIF

Nous avons souhaité un logiciel qui ne remettrait pas en cause la façon de concevoir le ferrailage, car il doit être adoptée rapidement par le plus grand nombre : les armatures sont modélisées directement en 3D et accrochées sur le coffrage, tout en respectant les enrobages, en tenant compte des règles métier et de la réglementation. Aussi la manipulation de gros modèles 3D de ferrailage ne doit pas être un frein : la fluidité dans l'affichage et dans la manipulation des armatures sont essentielles.

Comme toute solution BIM, un logiciel de ferrailage en 3D doit intégrer de nombreuses fonctionnalités « métier » et doit faciliter au quotidien le travail de conception. Certes le projeteur s'adapte à son nouvel environnement de travail, mais l'outil doit aussi évoluer en tenant compte des demandes des utilisateurs. La réactivité de l'éditeur du logiciel est ainsi primordiale et il faut privilégier des cycles courts de développement pour donner un dynamisme à la démarche. Rappelons qu'un des buts principaux de la démarche ferrailage 3D est de résoudre les interférences au moment de la conception avant qu'elles ne soient découvertes tardivement sur le chantier.

La solution logiciel doit donc intégrer nativement un outil de détection et de gestion des collisions entre les armatures elles-mêmes et entre les armatures et les inserts. C'est un gage d'efficacité et d'autocontrôle immédiat pour le projeteur.

Un des avantages de la démarche ferrailage 3D et du logiciel choisi est l'automatisation de création de certaines parties du ferrailage non complexes et l'utilisation de la notion de polymorphisme ; un ferrailage conçu pour une



partie peut s'adapter à une autre partie d'ouvrage. Cela est d'autant plus vrai dans le cas d'étude de préfabrication.

FAUT-IL TOUT FAIRE EN 3D ?

Souvent, la question suivante a été posée : « faut-il concevoir tout le ferrailage en 3D ? Des zones simples ne le nécessitent pas ! ».

Une première réponse est de dire que la méthode traditionnelle - faire des plans d'armatures en 2D - est difficilement intégrable dans une démarche BIM.

D'autres questions se posent alors : Comment classe-t-on une cage d'armatures en zone complexe par rapport à une zone simple ? Comment gère-t-on les interfaces entre un modèle 3D et les parties étudiées en 2D si on se situe dans un mode « mixte » ?

Une deuxième réponse est de dire que grâce aux outils performants, il n'est

4- Détail de précontrainte dans un ferrailage dense.

4- Detail of prestressing in dense reinforcing bars.

pas plus difficile, ni plus long, de ferrailer en 3D des zones simples ; alors pour l'efficacité et la cohérence du modèle il paraît judicieux de modéliser la totalité du ferrailage en 3D.

UTILISER LE FERRAILAGE 3D SUR LE TERRAIN

Enfin, sur le chantier, c'est l'homme de production qui va lancer les séquen-

ces d'armatures à produire et à poser : il devient alors consommateur de la donnée enrichie tout au long du processus de conception du ferrailage. Il pourra alors aisément organiser son travail depuis la maquette 3D.

Nous ne faisons pas ici l'apologie du BIM, mais rappelons qu'une donnée structurée, cohérente et fiable, nous aide efficacement pour la mise en œuvre des armatures sur le chantier. Visualiser les détails complexes d'une cage d'armatures en 3D apporte une meilleure compréhension de l'objet à mettre en place.

Pourquoi ne pas imaginer établir des séquences de pose ou encore des cahiers de montage comme pour les meubles d'un fabricant suédois ?

On imagine toutes les utilisations sur le chantier de cette information enrichie tout au long du cycle de vie : fabrication, logistique, pose et contrôle des armatures. Il est certain que la coordination en amont réduit les problèmes de fabrication des armatures et contribue à la diminution des non-conformités sur le chantier.

POUR ALLER PLUS LOIN...

Comme nous l'avons indiqué, la démarche ferrailage 3D s'intègre dans la démarche BIM globale. Nous devons donc poursuivre les développements du début jusqu'à la fin de la chaîne.

Le début de la chaîne se situe au niveau de la liaison entre le calcul de structures et la conception du ferrailage en 3D, ce qui représente déjà un vaste sujet.

La fin de la chaîne est l'utilisation, la consommation et la consolidation de la donnée ferrailage 3D sur le chantier : utilisation de tablette numérique, de casque avec lunettes à vision augmentée, d'outils de contrôle du ferrailage et de capture avant bétonnage (pour stocker les données des ouvrages réalisés) tout au long du cycle de vie, jusqu'à l'exploitation ou la démolition de l'ouvrage. □

ABSTRACT

THE 3D REINFORCEMENT PROCESS

ÉRIC TOURNEZ, BOUYGUES TP - DAVID DUMORTIER, BOUYGUES TP

After passing the hurdle of learning the software and establishing templates and good practices, 3D reinforcement design provides an opportunity for an evolution in engineering to become integrated into the BIM process. We ought to say "Revolution", because the designer/reinforcing iron worker finds a new role alongside the engineer who does the structural design calculations. Also, the customer is involved and has a better understanding of the technical options. The overall project thus gains in efficiency. □

EL PROCESO DE DISEÑO DE ARMADURAS EN 3D

ÉRIC TOURNEZ, BOUYGUES TP - DAVID DUMORTIER, BOUYGUES TP

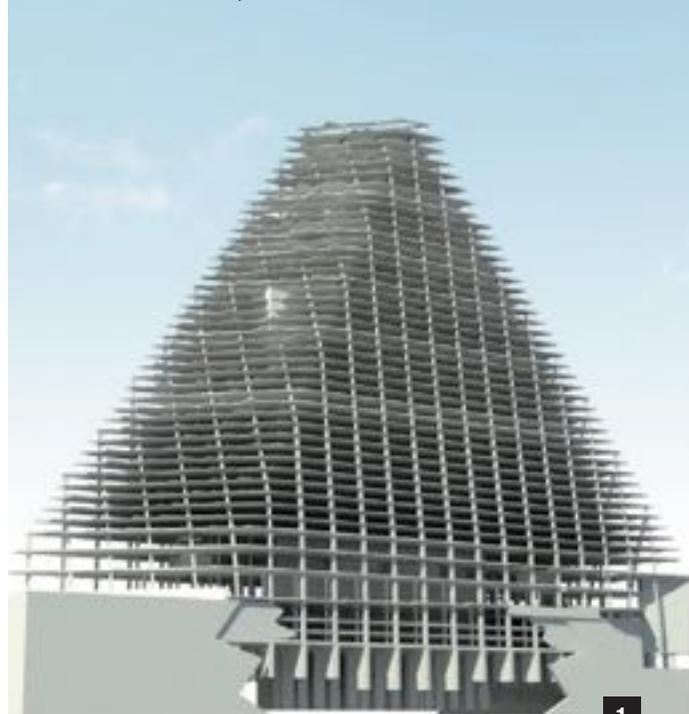
Una vez superada la fase de aprendizaje del programa, definidos ya los límites y las mejores prácticas, el diseño de armaduras en 3D brinda a las ingenierías la oportunidad de evolucionar para integrarse en el procedimiento BIM. Más que de "evolución" cabría hablar de "revolución", ya que el trabajo del proyectista de armaduras adquiere una nueva dimensión al lado del ingeniero que calcula la estructura. Asimismo, el cliente está implicado y comprende mejor las alternativas técnicas adoptadas. Todo ello redundará en una mayor eficacia del proyecto. □

BIM

LE BUILDING INFORMATION MODELLING DANS LE MONDE L'EXEMPLE DE SINGAPOUR

AUTEURS : VLADANA DARRAS, BIM MANAGER, SETEC TPI - JEAN-BERNARD DATRY, DIRECTEUR, SETEC TPI

L'EXPANSION DE LA VILLE DE SINGAPOUR A ÉTÉ ACCOMPAGNÉE D'UNE POLITIQUE DE DÉVELOPPEMENT DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE. AU-DELÀ D'UNE FORTE VOLONTÉ DES POUVOIRS PUBLICS D'IMPOSER AUX ARCHITECTES, BUREAUX D'ÉTUDES ET ENTREPRISES L'USAGE DE CES MODÉLISATIONS, UN EFFORT IMPORTANT A ÉTÉ ENTREPRIS POUR FORMER TOUS LES ACTEURS DE LA CONSTRUCTION. CETTE FORMATION SPÉCIFIQUE ATTIRE AUJOURD'HUI DES ARCHITECTES, DES INGÉNIEURS ET DES CONSTRUCTEURS DU MONDE ENTIER.



© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

1

LE BIM, UNE NÉCESSITÉ APPARUE TÔT CHEZ SETEC TPI

Déjà reconnu pour le professionnalisme de ses expertises, Setec Tpi suit sans cesse l'évolution des techniques au travers de pôles thématiques et de son université interne. Présents dès la création de Setec, l'innovation, le développement et l'adaptation aux mutations professionnelles et pratiques de l'ingénierie font l'objet d'une veille technologique quotidienne.

1- **Tour Triangle - Herzog - de Meuron & Setec Tpi.**

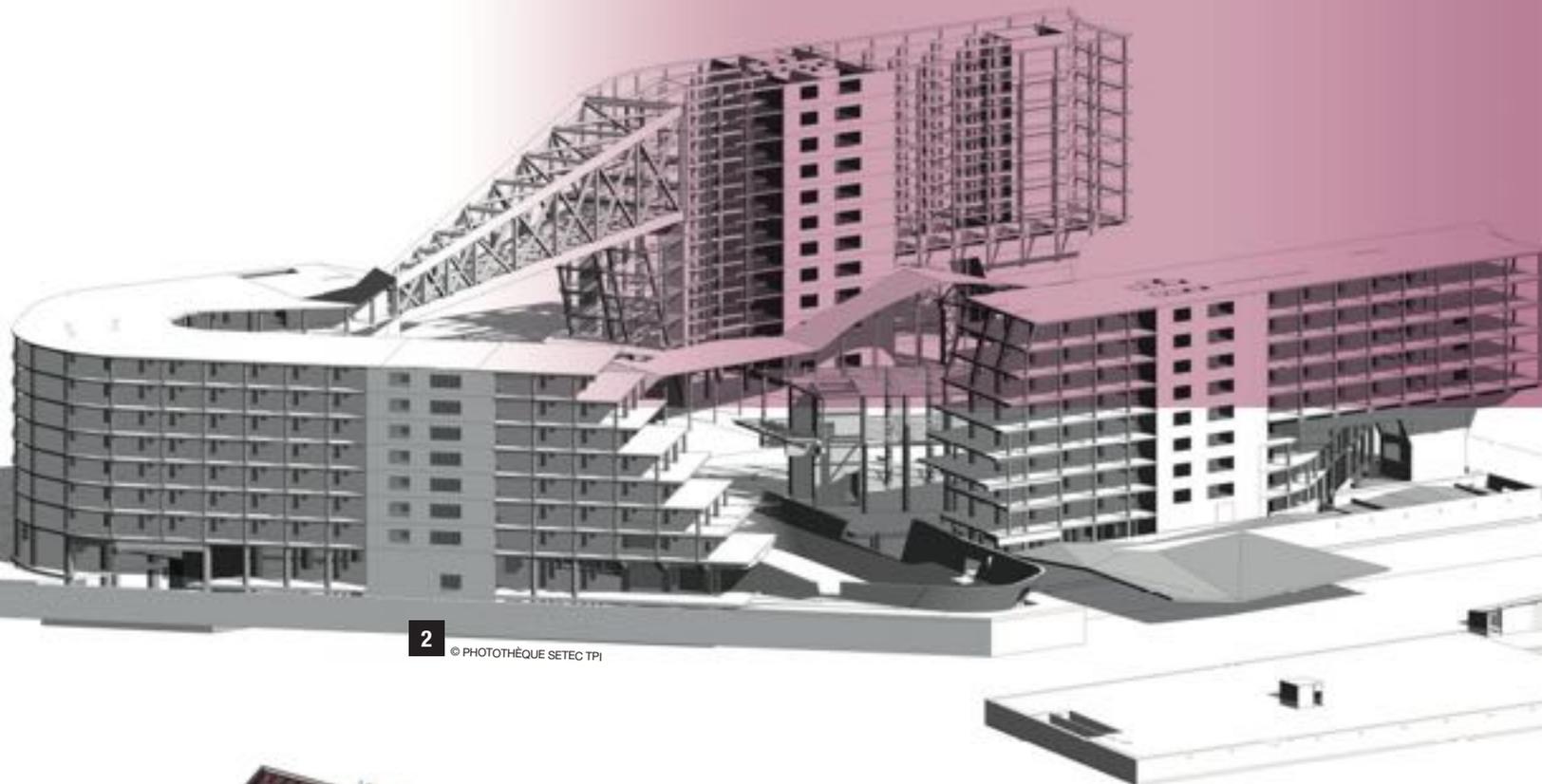
1- **Triangle Tower - Herzog - de Meuron & Setec Tpi.**

Setec Tpi encourage également la formation et le perfectionnement de ses collaborateurs. C'est pourquoi elle a proposé à ses collaborateurs intéressés par le métier de BIM manager de suivre la formation qualifiante « BIM management » organisée par la Building and Construction Authority de Singapour. Le BIM (ou en français le MIB, Modélisation des Informations du Bâtiment) amène un changement révolutionnaire dans le domaine de la construction. Il s'est imposé naturellement dans nos différents secteurs d'activité au travers de projets complexes comme les immeubles de grande hauteur, les projets industriels et les projets d'infrastructure. Aujourd'hui, la modélisation de données et d'informations est utilisée pour les projets complexes de bâtiment ou de génie civil, avec une forte présence d'équipements. À titre d'exemple, c'est ainsi qu'ont été traités les projets récents d'IGH de Majunga, les tours Triangle (figure 1) et Trinity (figure 3), le siège de l'Eni (figure 2), et le Tribunal de Grande Instance à Paris (figure 4). Pour ce qui est des infrastructures, la gare Eole-CNIT (figure 5), le métro de Ryad, les huit gares de la ligne rouge du projet Grand Paris, ou des ouvrages publics de prestige comme le centre culturel du Koweït (figure 6).

Tout récemment, Setec Bâtiment et Setec Tpi participent, en tant que « BIM-manager » pour la partie structure, au côté de Vinci Grands Projets, au projet d'extension de l'aéroport de Santiago du Chili. Setec Bâtiment fait par ailleurs référence dans le domaine du BIM avec sa prestation exceptionnelle pour la fondation Louis Vuitton à Paris (figure 7). Mais si les développements sont déjà importants dans le domaine du bâtiment, Setec Tpi souhaite utiliser ces méthodes modernes de conception dans les domaines du génie civil ou industriel, des infrastructures, ainsi que dans la conception et la construction d'ouvrages d'art ou encore de VRD. Ainsi, dans une recherche constante d'amélioration, Setec Tpi a été amenée à s'intéresser de plus près à l'extraordinaire développement du BIM à Singapour et aux formations proposées dans cette région du monde.

SINGAPOUR, FOYER DE LA CULTURE BIM

La démarche des pouvoirs publics de Singapour est un modèle de ce qu'on peut entreprendre pour structurer le développement du BIM par une stratégie sérieuse et un travail collaboratif entre l'État et les experts de la profession, qu'ils soient ingénieristes, architectes ou constructeurs.



2 © PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

**2- Eni Milan -
Morphosis &
Setec Tpi.**

**3- Tour Trinity -
JL Crochon &
Setec Tpi.**

**2- Eni Milan -
Morphosis &
Setec Tpi.**

**3- Trinity Tower -
JL Crochon &
Setec Tpi.**

jouets, la production de bois. Puis dans les années soixante-dix et quatre-vingt, ce développement s'est orienté vers la production de composants électroniques pour l'industrie, une production plus sophistiquée avec du personnel, ingénieurs et techniciens, hautement qualifiés. Plus tard, le développement phare de Singapour sera l'électronique, l'ingénierie et l'industrie chimique, et la tendance actuelle est de prendre le leadership dans les biotechnologies et le secteur des technologies médicales. Le manque de terrains disponibles et l'absence de ressources naturelles font que le gouvernement a favorisé l'éducation et la formation de professionnels de haut niveau afin d'exporter un savoir-faire constitué d'innovations, de développement et d'expertise. Singapour est devenu ainsi le chef de file dans des domaines aussi variés que la science, la recherche des stratégies de développement et l'innovation.

Cette économie est fondée essentiellement sur les sciences de l'information et, corrélativement, sur la protection de la propriété intellectuelle. De ce fait, le secteur public et le secteur privé ont mis en place un réseau qui favorise les produits, les procédés et le développement des nouvelles technologies. ▷

Le développement du BIM à Singapour a été fortement influencé par la stratégie économique et le développement industriel du pays, commencés dans les années soixante. Cette stratégie est étroitement liée à l'implantation géographique et au développement urbain exceptionnel de la cité-état d'Asie du Sud-Est.

Jusqu'aux années soixante, Singapour était un pays pauvre avec une production orientée uniquement vers le marché et la consommation intérieure. La croissance économique a commencé avec l'industrialisation du pays et des projets pilotes concernant l'industrie du vêtement, du textile, des



3 © PHOTOTHÈQUE SETEC TPI



© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

4

Avec la surface limitée de 699 km² et la population de 5,5 millions (dont 2,1 millions d'étrangers) et une répartition de la population de 7868 habitants au km², Singapour a une politique très stricte de réglementation urbaine et d'encadrement des prix des terrains constructibles. L'habitat est principalement collectif. La demande était devenue forte de réaliser des constructions avec un niveau élevé de productivité, de rentabilité, une rationalisation des procédés de construction, et une recherche d'efficacité en termes d'organisation et de planification de chantier. En effet, Singapour possède aujourd'hui plus de 220 immeubles de grande hauteur. Dans ces conditions, le développement rapide du BIM était plus qu'évident.

LE DÉVELOPPEMENT DU BIM DANS LE MONDE ET LE RÔLE MOTEUR DE SINGAPOUR

Cela fait plus de 13 ans (2002) que le BIM a été introduit dans le monde. Le développement du BIM a été parallèle dans plusieurs régions du monde, mais les premières prescriptions officielles ont été produites dans les pays suivants :

- En Finlande dès 2007,
- Par l'US Army Corps of Engineers and U.S. GSA en 2008,
- En Norvège à partir de 2010,
- En Grande Bretagne depuis 2011,
- Puis suivent la Corée en 2012 et Singapour en 2013.

Avec l'esprit d'innovation, l'apport de la technologie, la productivité élevée, la rationalisation des processus et une gestion des terrains efficace, Singapour était, dès les années 90, bien avancé avec le projet CORENET, (Construction and Real Estate Network) : une initiative majeure en faveur du développement des sciences de l'informatique, conduite par le ministère du Développe-

4- Tribunal de Grande Instance de Paris - Renzo Piano Building Workshop & Setec Tpi.

5- EOLE - Gare La Défense de RER E.

4- Tribunal de Grande Instance (High Court) of Paris - Renzo Piano Building Workshop & Setec Tpi.

5- EOLE - La Défense RER E train station.

ment National et portée par la Building and Construction Authority (BCA), en collaboration avec d'autres organisations publiques et privées.

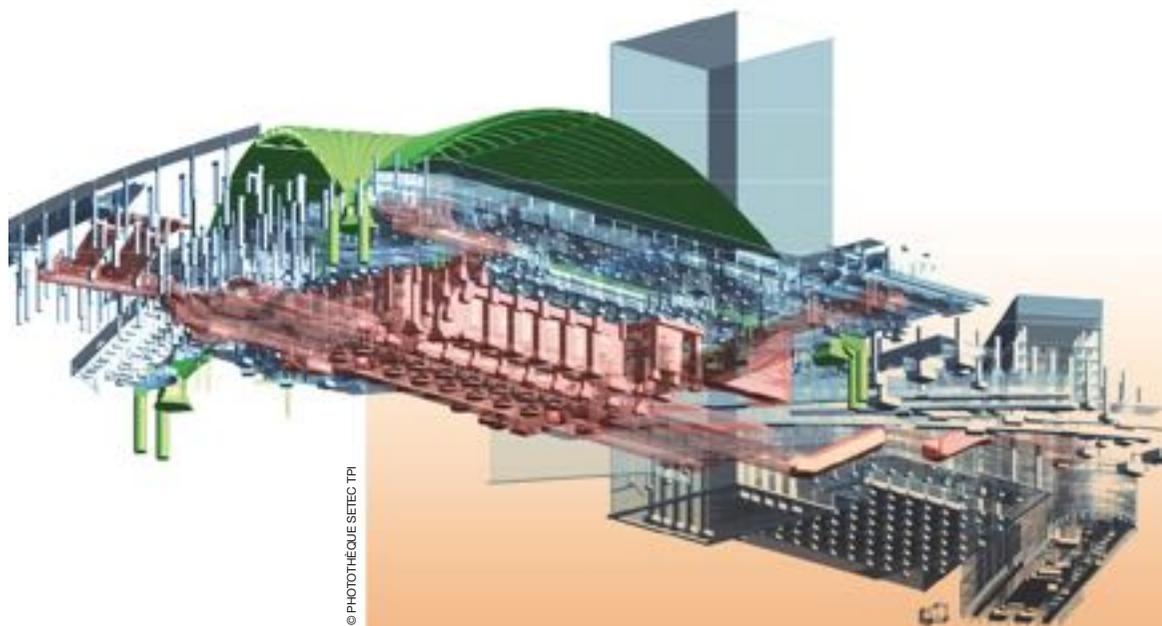
Le projet CORENET visait à repenser les processus opérationnels du secteur de la construction pour réaliser un saut « quantique » dans la qualité, la productivité des projets et la réduction des délais de construction. CORENET été l'occasion de développer les présentations électroniques des projets et les relier automatiquement aux codes de conception et de vérification. CORENET a progressivement évolué vers une modélisation BIM.

Le secteur de la construction à Singapour est régi par la Building and Construction Authority (BCA). La BCA a des objectifs ambitieux et a réalisé des investissements élevés pour l'adoption et la généralisation du BIM. Plus de 6 millions de dollars de Singapour (SGD) ont été investis pour favoriser le développement du BIM en 2010. Il a fallu plus de trois ans pour élaborer cette stratégie, en faire la mise en œuvre et exiger les présentations BIM dans les projets publics et privés. Le principal objectif est de pousser le monde de la construction à utiliser le BIM largement dès la fin de l'année 2015.

LA STRATÉGIE DE DÉVELOPPEMENT

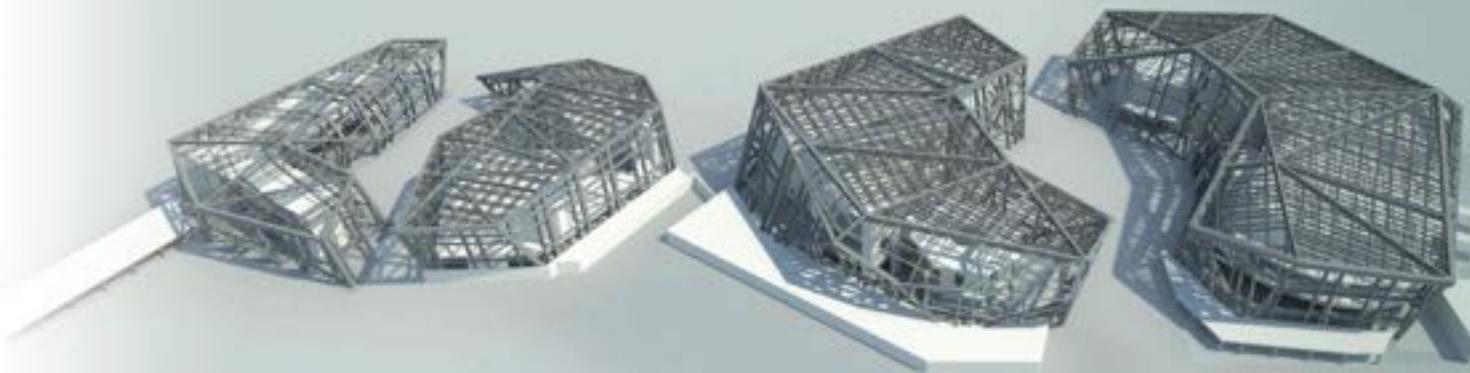
La stratégie d'implantation et de développement du BIM menée par la BCA est principalement orientée vers les sujets suivants :

- 1- Préparer les lignes directrices de tous les aspects du BIM en accompagnant tous les types d'utilisateurs (clients, architectes, ingénieristes, constructeurs) vers un usage systématique de la modélisation numérique des constructions.
 - 2- Singapour disposait depuis 1990 d'un corpus de règles concernant le CAD. Afin de faciliter et d'accélérer la transition et le passage du CAD à la modélisation BIM, BCA a publié plusieurs documents :
 - Modèles de présentation (gabarits) architecturaux et structuraux dès 2010,
 - Modèles de présentation (gabarits) MEP en 2011,
 - Production des « 2012 Singapour BIM Guide » et « Singapour Guides » essentiels et dédiés aux différents utilisateurs du BIM, par profession.
 - 3- Pour créer une demande sur le marché, le secteur public devait prendre le rôle de premier plan, et l'initiative a été prise dès l'année 2011. Dès cette période, des établissements ont été créés pour enseigner les techniques du BIM.
 - 4- Et la même année, la « BCA Academy » a organisé des programmes de cours d'apprentissage pour les professionnels du monde de la construction en modélisation BIM et en BIM management.
- Cette académie de la BCA joue un rôle majeur dans la mise en œuvre du BIM à Singapour.



© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

5



6

© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

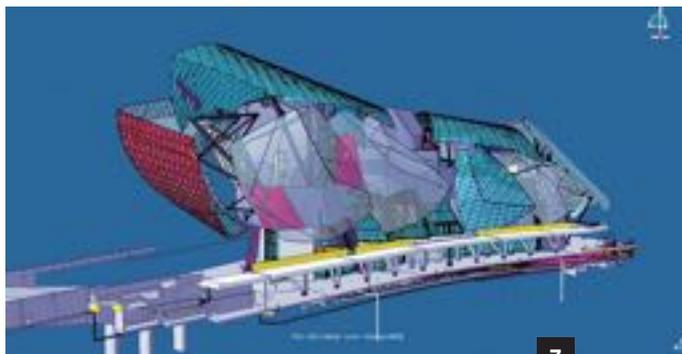
En un an, elle a réussi à former 1 200 personnes du secteur de la construction aux techniques du BIM. Le processus se poursuit avec la création de bibliothèques, l'organisation de toutes sortes de séminaires, de conférences et par la présentation de projets les plus réussis par le CCIT (Center for Construction Information Technology). Depuis, l'obligation d'une présentation officielle des projets numériques aux autorités (homologation) croît progressivement :

- Depuis juillet 2013 : une représentation BIM est obligatoire pour les architectes pour tous les nouveaux projets de construction de plus de 20 000 m².
- En juillet 2014 : obligation pour les ingénieries d'une représentation BIM pour tous les nouveaux projets de construction, plus de 20 000 m².
- En juillet 2015 : obligation pour les architectes et les ingénieries d'une présentation BIM pour tout projet neuf de plus de 5 000 m².

De ce fait, tous les professionnels de la construction de Singapour, clients, ingénieristes et entreprises se trouvent engagés dans ce processus de modernisation des techniques de conception et de construction.

LE STAGE CERTIFIANT DE L'ACADÉMIE DU BCA

Le BCA travaille main dans la main avec les professionnels les plus expérimentés du BIM. C'est pourquoi leurs actions et les documents publiés ne constituent pas qu'une approche théorique ; ils



7

© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

6- Centre culturel du Koweït - Agence Ssh & Setec Tpi.

7- Fondation Louis Vuitton à Paris - Gehry Partners, Llp & Setec bâtiment.

8- Certificat BIM Management - BCA Academy.

6- Kuwait cultural centre - Ssh agency & Setec Tpi.

7- Louis Vuitton Foundation in Paris - Gehry Partners, Llp & Setec bâtiment.

8- BIM Management certificate - BCA Academy.



8

© SETEC TPI

favorisent la pratique. Les cours de certification organisés par l'Académie du BCA sont dédiés aux professionnels qui ont déjà une expérience des métiers de la construction : maîtres d'ouvrage, architectes, ingénieurs et constructeurs. En participant au stage organisé par le BCA et pour anticiper une évolution de nos métiers de concepteurs ou de constructeurs, voire une démarche officielle française, les collaborateurs de Setec Tpi ont pu s'immerger dans les pratiques développées en Asie du Sud-Est et acquérir une vision étendue sur tous les aspects du management de projet au travers de la maquette numérique : une semaine de cours intensifs, pendant huit heures par jour, avec un examen final, ce qui constitue une bonne base pour les futurs gestionnaires de BIM. Ce cours apporte une compréhension parfaite de tous les principes fondamentaux d'une maquette numérique, de sa structuration, de l'architecture des programmes, du rôle des principaux acteurs du processus, de la maîtrise des risques, du management et de la qualité, de la réglementation et la législation relative à l'usage des modèles numériques. À la fin de ce séminaire les participants doivent passer un test et réaliser une étude de cas. En cas de succès, ils reçoivent un certificat de « BIM management » (figure 8). Cette formation est accessible aux professionnels du monde entier.

De quoi faire réfléchir nos pouvoirs publics et nos entreprises. □

ABSTRACT

BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) THROUGHOUT THE WORLD - THE SINGAPORE EXAMPLE

VLADANA DARRAS, SETEC TPI - JEAN-BERNARD DATRY, SETEC TPI

Since it was founded in 1967, Setec Tpi has been on the cutting edge of technology with regard to digital design, drawing and computer modelling. Accordingly, to be in line with the global market, it has produced an inventory of existing top-notch BIM training courses worldwide. It so happens that the use of BIM went hand-in-hand with the fantastic expansion of the city of Singapore since the 2000s, and this method of project representation was made compulsory for all projects larger than 5,000 m². At the same time, the Building Construction Authority produced a number of standards and placed emphasis on vocational training. Accordingly, construction industry players can receive training attested by a certificate and validate their expertise in the area of BIM Management. □

EL BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) EN EL MUNDO - EL EJEMPLO DE SINGAPUR

VLADANA DARRAS, SETEC TPI - JEAN-BERNARD DATRY, SETEC TPI

Desde su creación en 1967, Setec Tpi se encuentra a la vanguardia de las tecnologías de cálculo, dibujo y maquetado digital. Asimismo, para adaptarse al mercado internacional, ha realizado un inventario de los cursos de formación más destacados que se imparten en el mundo en materia de BIM. En este sentido, el uso del BIM ha acompañado el espectacular desarrollo de la ciudad de Singapur a partir de los años 2000, y este modo de representación de proyectos se ha convertido en una herramienta imprescindible en cualquier operación de más de 5.000 m². Paralelamente, la Building Construction Authority ha establecido algunos estándares y ha hecho hincapié en la formación de los profesionales. Así, los actores de la construcción pueden recibir una formación con entrega de titulación y validar sus competencias en materia de BIM Management. □



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 918 « International »
- TRAVAUX n° 919 « Ville, transports & patrimoine »
- TRAVAUX n° 920 « Spécial BFUP (Béton fibré à ultra-hautes performances) »

Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs.
Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :

Bertrand COSSON
 Tél. 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr



Carine REININGER
 Tél. 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr

L'Esitc de Caen (Calvados) a organisé
 les premières rencontres Edubim en juin



© ESITC-CAEN

RÉFLÉCHIR ENSEMBLE À LA FORMATION AU BIM

Edubim est le rendez-vous annuel de la formation au Bâtiment et informations modélisés (BIM). La première édition, organisée par l'École supérieure d'ingénieurs des travaux de la construction (Esitc), a réuni 200 personnes à Caen (Calvados), les 16 et 17 juin. Cinquante organismes de formation y étaient représentés. « L'idée est de confronter les points de vue des formateurs des différents niveaux - lycée, école d'ingénieurs, université, etc. - à ceux des entreprises, PME, bureaux d'études et maîtres d'ouvrage qui ont pu exprimer leurs besoins au début des rencontres, » explique Marie Bagieu, responsable des études à l'Esitc-Caen. Trois professeurs d'université du Royaume-Uni, d'Allemagne et du Danemark ont témoigné de leur manière de faire.

La seconde journée s'est centrée sur comment adapter la formation au niveau des élèves. Le BIM ne s'enseigne pas de la même façon qu'il s'agisse d'une classe de terminale, de futurs architectes ou d'étudiants.

Le problème du manque d'opérabilité des logiciels utilisés en Bim a été développé dans une table ronde avec des éditeurs. Enfin, des ateliers ont abordé les liens avec les systèmes d'informations géographiques (SIG), le prérequis de la

formation, les stages courts, les ressources par internet, la gestion du patrimoine. « Il y a eu beaucoup d'échanges entre participants, des liens se sont créés, » a apprécié Marie Bagieu.

À la demande des entreprises

L'Esitc, qui participe aux groupes de recherche sur le MIN°D (BIM appliqué aux infrastructures)*, a été sollicité par l'Observatoire MIN°D pour organiser ses rencontres. Les entreprises partenaires de l'école lui avaient déjà demandé d'introduire ce sujet dans les études, ce qui a été fait il y a six ans dans le master sur les éco-matériaux puis progressivement dans le cursus.

Aujourd'hui, l'apprentissage de la maquette numérique fait partie du tronc commun de ses 400 élèves, qu'ils se destinent au bâtiment ou aux travaux publics. L'école parle de "maquette numérique" - outil en trois dimensions et projet collaboratif - plutôt que de BIM dont les traductions diffèrent.

* Cf. Travaux avril-mai 2015, page 8.

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

TRANSPORTS ROUTES & TERRASSEMENTS

901

OUVRAGES D'ART

906

PATRIMOINE ET RÉHABILITATION

911

STADES

902

SOLS ET FONDATIONS

907

SPÉCIAL LGV

912

PATRIMOINE & RÉHABILITATION

903

ÉNERGIE - DÉVELOPPEMENT DURABLE

908

TRAVAUX SOUTERRAINS

913

TRAVAUX SOUTERRAINS

904

INTERNATIONAL

909

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

914

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

905

VILLES ET TRANSPORTS

910

OUVRAGES D'ART

915

*Offre valable jusqu'au 31/12/17 - COMPTONNANCE 10 - JUILLET 2018



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

JE COMMANDE LES NUMÉROS

SUIVANTS (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 901 x | <input type="checkbox"/> 906 x | <input type="checkbox"/> 911 x |
| <input type="checkbox"/> 902 x | <input type="checkbox"/> 907 x | <input type="checkbox"/> 912 x |
| <input type="checkbox"/> 903 x | <input type="checkbox"/> 908 x | <input type="checkbox"/> 913 x |
| <input type="checkbox"/> 904 x | <input type="checkbox"/> 909 x | <input type="checkbox"/> 914 x |
| <input type="checkbox"/> 905 x | <input type="checkbox"/> 910 x | <input type="checkbox"/> 915 x |

Soit un montant total de :

_____ numéros x 15 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)

*Offre valable jusqu'au 31/12/17 et hors frais postaux : 4,80€ d'envoi France, 8,00€ d'envoi Europe et 11,00€ d'envoi étranger hors Europe. Conformément à la Loi « Informatique et des libertés » du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____

Entreprise _____ Fonction _____

Adresse _____

Code postal [] [] [] [] [] [] Ville _____

Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE

Je réglerai à réception de la facture

Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoires



BESOIN DE SIMPLIFICATION

Prévoyance conventionnelle
Complémentaire santé
Déclaration sociale nominative